



This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

- + *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.
- + *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.
- + *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.
- + *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at <http://books.google.com/>



Über dieses Buch

Dies ist ein digitales Exemplar eines Buches, das seit Generationen in den Regalen der Bibliotheken aufbewahrt wurde, bevor es von Google im Rahmen eines Projekts, mit dem die Bücher dieser Welt online verfügbar gemacht werden sollen, sorgfältig gescannt wurde.

Das Buch hat das Urheberrecht überdauert und kann nun öffentlich zugänglich gemacht werden. Ein öffentlich zugängliches Buch ist ein Buch, das niemals Urheberrechten unterlag oder bei dem die Schutzfrist des Urheberrechts abgelaufen ist. Ob ein Buch öffentlich zugänglich ist, kann von Land zu Land unterschiedlich sein. Öffentlich zugängliche Bücher sind unser Tor zur Vergangenheit und stellen ein geschichtliches, kulturelles und wissenschaftliches Vermögen dar, das häufig nur schwierig zu entdecken ist.

Gebrauchsspuren, Anmerkungen und andere Randbemerkungen, die im Originalband enthalten sind, finden sich auch in dieser Datei – eine Erinnerung an die lange Reise, die das Buch vom Verleger zu einer Bibliothek und weiter zu Ihnen hinter sich gebracht hat.

Nutzungsrichtlinien

Google ist stolz, mit Bibliotheken in partnerschaftlicher Zusammenarbeit öffentlich zugängliches Material zu digitalisieren und einer breiten Masse zugänglich zu machen. Öffentlich zugängliche Bücher gehören der Öffentlichkeit, und wir sind nur ihre Hüter. Nichtsdestotrotz ist diese Arbeit kostspielig. Um diese Ressource weiterhin zur Verfügung stellen zu können, haben wir Schritte unternommen, um den Missbrauch durch kommerzielle Parteien zu verhindern. Dazu gehören technische Einschränkungen für automatisierte Abfragen.

Wir bitten Sie um Einhaltung folgender Richtlinien:

- + *Nutzung der Dateien zu nichtkommerziellen Zwecken* Wir haben Google Buchsuche für Endanwender konzipiert und möchten, dass Sie diese Dateien nur für persönliche, nichtkommerzielle Zwecke verwenden.
- + *Keine automatisierten Abfragen* Senden Sie keine automatisierten Abfragen irgendwelcher Art an das Google-System. Wenn Sie Recherchen über maschinelle Übersetzung, optische Zeichenerkennung oder andere Bereiche durchführen, in denen der Zugang zu Text in großen Mengen nützlich ist, wenden Sie sich bitte an uns. Wir fördern die Nutzung des öffentlich zugänglichen Materials für diese Zwecke und können Ihnen unter Umständen helfen.
- + *Beibehaltung von Google-Markenelementen* Das "Wasserzeichen" von Google, das Sie in jeder Datei finden, ist wichtig zur Information über dieses Projekt und hilft den Anwendern weiteres Material über Google Buchsuche zu finden. Bitte entfernen Sie das Wasserzeichen nicht.
- + *Bewegen Sie sich innerhalb der Legalität* Unabhängig von Ihrem Verwendungszweck müssen Sie sich Ihrer Verantwortung bewusst sein, sicherzustellen, dass Ihre Nutzung legal ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass ein Buch, das nach unserem Dafürhalten für Nutzer in den USA öffentlich zugänglich ist, auch für Nutzer in anderen Ländern öffentlich zugänglich ist. Ob ein Buch noch dem Urheberrecht unterliegt, ist von Land zu Land verschieden. Wir können keine Beratung leisten, ob eine bestimmte Nutzung eines bestimmten Buches gesetzlich zulässig ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass das Erscheinen eines Buchs in Google Buchsuche bedeutet, dass es in jeder Form und überall auf der Welt verwendet werden kann. Eine Urheberrechtsverletzung kann schwerwiegende Folgen haben.

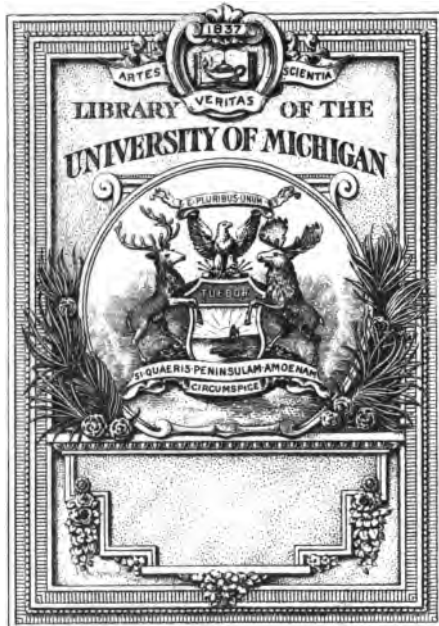
Über Google Buchsuche

Das Ziel von Google besteht darin, die weltweiten Informationen zu organisieren und allgemein nutzbar und zugänglich zu machen. Google Buchsuche hilft Lesern dabei, die Bücher dieser Welt zu entdecken, und unterstützt Autoren und Verleger dabei, neue Zielgruppen zu erreichen. Den gesamten Buchtext können Sie im Internet unter <http://books.google.com> durchsuchen.

A

814,711





BF
237
.M94

132
7/6

Bibliothek
für
Wissenschaft und Literatur.

23. Band.

Philosophische Abtheilung.

4. Band.

Zur
Grundlegung der Psychophysik.

Kritische Beiträge

von

Dr. Georg Elias Müller,

Privatdocenten der Philosophie an der Universität zu Göttingen.

BERLIN.

Verlag von Theobald Grieben.

1878.

Zur

Grundlegung der Psychophysik.

77138

Kritische Beiträge

von

Dr. Georg Elias Müller,

Privatdocenten der Philosophie an der Universität zu Göttingen.

BERLIN.

Verlag von Theobald Grieben.

1878.

Alle Rechte vorbehalten.

Reclus 3-31-37 H. T. T.

Herrn Geh. Regierungsrath

Prof. H. Lotze

in dankbarer Verehrung

zugeeignet

vom

Verfasser.



transferred
to GL 5173

Vorwort.

Vorliegende Schrift stellt sich die Aufgabe, eine Hauptfrage der Psychophysik, nämlich die Frage nach der Gültigkeit, Bedeutung und Zweckmässigkeit des von E. H. Weber aufgestellten Gesetzes dem gegenwärtigen Stande unseres Wissens gemäss zu erörtern. Zu diesem Zwecke werden zunächst in einem ersten Abschnitte die psychophysischen Maassmethoden, deren man sich bisher bei Prüfung dieses Gesetzes bedient hat, einer kritischen Besprechung unterworfen; wobei sich einerseits herausstellt, dass einige der bisher ohne Bedenken angewandten Verfahrungsweisen gar keine brauchbaren und zuverlässigen Resultate geben können, andererseits aber auch sich zeigt, dass das psychophysische Maassverfahren bei richtiger Behandlung der unmittelbar erhaltenen Versuchsergebnisse weiter zu führen und reichere Aufklärung zu geben vermag, als man bisher vorausgesetzt hat. Auf Grund der hinsichtlich der Maassmethoden gewonnenen Einsicht werden alsdann in einem zweiten Abschnitte sämmtliche bisherige das Weber'sche Gesetz betreffende Versuchsreihen einer näheren Prüfung unterzogen. Leider lässt sich nicht in Abrede stellen, dass die meisten derselben kaum mehr als vorläufigen Werth besitzen. Von Delboeuf's nach der Methode der übermerklichen Unterschiede angestellten Lichtversuchen abgesehen, ist streng genommen keine der bisherigen Versuchsreihen genau so ange stellt oder verwandt worden, wie es eine eingehende Analyse des psychophysischen Maassverfahrens vorschreibt. Auch die äussere Technik des Versuchsverfahrens war bei vielen Ver-

suchsreihen eine mangelhafte, insofern Fehlerquellen physikalischer oder anderer Art nicht beachtet wurden. Hoffentlich erfüllen die Ausführungen der beiden ersten Abschnitte ihren Zweck, nicht bloss darzulegen, welches Maass der Gültigkeit das Weber'sche Gesetz nach den bisherigen Untersuchungen besitzt, sondern auch darauf hinzuwirken, dass künftighin bei dem psychophysischen Experimente nur noch zuverlässige Maassmethoden zur Anwendung kommen und auch die äussere Technik des Versuchsverfahrens dem Einflusse aller bisher oft vernachlässigten Fehlerquellen ganz entzogen wird.

Der dritte Abschnitt beschäftigt sich mit der Deutung des Weber'schen Gesetzes. Die Einwände, welche Hering, Delboeuf, Langer u. A. gegen Fechner's Maassformel erhoben haben, werden näher erörtert und die Wahrscheinlichkeit einer annähernden Gültigkeit dieser Formel dargethan. Was die Deutung dieser Formel betrifft, so werden die Gründe, welche Fechner für seine psychophysische Auffassung derselben geltend gemacht hat, sämmtlich capitelweise durchgenommen, ihre Unzulänglichkeit gezeigt und dargethan, dass eine physiologische Auffassung der Maassformel nach dem gegenwärtigen Stande unseres Wissens weit mehr Wahrscheinlichkeit besitzt als Fechner's, ohne gewisse Modification gar nicht haltbare, psychophysische Auffassung. Indessen das Ziel dieser Erörterungen ist nicht etwa dies, an Stelle der Fechner'schen Ansicht meinerseits mit mehr oder weniger Geräusch eine physiologische Auffassung des Weber'schen Gesetzes zu verkünden, eine Auffassung, die weder neu ist noch erwiesen, sondern eben nur als die zur Zeit wahrscheinlichste Auffassung gelten darf; vielmehr kommt es mir lediglich darauf an, die Angelegenheit des Weber'schen Gesetzes gewissermassen in statum integrum zurückzuführen und auf einige dieselbe mehr oder weniger berührende, bisher vernachlässigte oder überhaupt unbekannte Probleme, z. B. das Problem der Proportionalität des Präcisionsmaasses und der absoluten Unterschiedsempfindlichkeit, der Abhängigkeit der Unterschiedsempfindlichkeit von der Reiz-

qualität u. dergl. m., die Aufmerksamkeit der Psychophysiker zu lenken. Im vierten Abschnitte endlich, welcher von der Zweckmässigkeit des Weber'schen Gesetzes handelt, wird dargelegt, welche Bedeutung die annähernde Gültigkeit dieses Gesetzes für die Wiedererkennung früher wahrgenommener Objecte besitzt.

Auf gewisse mit dem Gegenstande meiner Erörterungen in Zusammenhang stehende Fragen, z. B. auf die Frage, worin denn nun eigentlich die Merkllichkeit oder Deutlichkeit eines Empfindungsunterschiedes bestehe, ob Fechner's Unterschiedsmaassformel richtig abgeleitet sei, ob die Empfindungsintensität von der Amplitude gewisser Schwingungen oder anderen Momenten des ihr unmittelbar zu Grunde liegenden physischen Erregungszustandes abhängig gedacht werden müsse u. dergl. m., bin ich absichtlich nicht eingegangen, weil ich einerseits den Umfang dieser Schrift innerhalb gewisser Grenzen halten wollte und andererseits die Vollständigkeit derselben hinsichtlich ihres eigentlichen Gegenstandes, des Weber'schen Gesetzes, nicht beeinträchtigen durfte. Auch auf die psychophysischen Maassmethoden bin ich nur insoweit eingegangen, als sie zur Entscheidung derjenigen Fragen anwendbar sind, die sich an das Weber'sche Gesetz anknüpfen. Die Erörterung derjenigen Modificationen, welche diese Methoden erleiden müssen, um zur Bestimmung der sog. Raumschwelle oder im Gebiete des sog. Zeitsinnes u. dergl. verwendbar zu sein, sowie eine Discussion der in diesen Versuchsgebieten erhaltenen Resultate behalte ich mir für eine nächst dem zu veröffentlichende, gesonderte Abhandlung vor, desgleichen eine Erörterung des Maasses der absoluten Empfindlichkeit.

Fechner's neuestes Werk „In Sachen der Psychophysik“ (Leipzig 1877), in welchem Fechner seine Auffassung der Thatsachen des Weber'schen Gesetzes gegen die Angriffe von Hering, Mach, Delboeuf, Langer u. A. zu vertheidigen sucht, ist mir erst zu Händen gekommen, als der Druck dieser Schrift bis auf fünf Bogen bereits vollendet und es für mich unthunlich war, diese neuesten Ausführungen Fechner's noch zu

berücksichtigen. Ich bemerke hier kurz, dass die Einwände, die ich in dieser Schrift gegen Fechner's Auffassung der psychophysischen Maassmethoden, der Versuchsreihen Masson's, Volkman's u. A. und insbesondere gegen seine Deutung des Weber'schen Gesetzes erhoben habe, durch die neuesten Ausführungen Fechner's nicht im Mindesten entkräftet, ja zum grossen Theile gar nicht berührt werden. Eine nähere Begründung dieser Behauptung und überhaupt eine eingehende Kritik der neuesten Schrift Fechner's werde ich in nächster Zeit in den „Göttinger gelehrten Anzeigen“ geben.

Göttingen, im October 1877.

Der Verfasser.

Inhalts-Verzeichniss.

Einleitung	S. 1—6.
§ 1. Definition der Unterschiedsempfindlichkeit und des E. H. Weber'schen Gesetzes. Verzeichniss einiger Abkürzungen.	

Erster Abschnitt.

Die psychophysischen Maassmethoden.

1. Capitel. Die zufälligen Fehlervorgänge und die zufälligen Beobachtungsfehler S. 7—11.
§ 2. Die Existenz der zufälligen Fehlervorgänge; Repräsentation derselben durch die zufälligen Beobachtungsfehler. § 3. Der Unterschiedsschwellenwerth.
2. Capitel. Die Hauptformeln der Methode der r. u. f. Fälle S. 11—25.
§ 4. Die resultirenden Beobachtungsfehler. § 5. Das Wahrscheinlichkeitsgesetz derselben. § 6. Berechnung des Unterschiedsschwellenwerthes. § 7. Berechnung des Präcisionsmaasses. § 8. Ergänzende Bemerkungen.
3. Capitel. Die bisherigen Auffassungen und Anwendungen der Methode der r. u. f. Fälle S. 25—45.
§ 9. Benutzung dieser Methode durch Hegelmayer, Renz und Wolf. § 10. Anstellungsweise der Fechner'schen Gewichtsversuche. § 11. Fechner's Benutzung der erhaltenen Zahlen richtiger, falscher und zweifelhafter Fälle. § 12. Irrthümlichkeit der Fechner'schen Voraussetzung, das Präcisionsmaass h dürfe schlechthin als Maass der Unterschiedsempfindlichkeit dienen. § 13. Auch wenn das Möbius-Fechner'sche Linienbeispiel triftig wäre, würde das Verfahren, das Fechner bei Berechnung der Werthe von h einschlägt, unrichtig sein. § 14. Untriftigkeit jenes Linienbeispieles.
4. Capitel. Die Elimination der constanten Fehler S. 46—55.
§ 15. Das Verfahren der sog. vollständigen Compensation der constanten Miteinflüsse. § 16. Kritik dieses Verfahrens. § 17. Anwendung desselben bei einer richtigen Verwendung der erhaltenen Zahlen richtiger und falscher Fälle.

5. Capitel. Die Methode der kleinsten Unterschiede S. 56—71.

§ 18. Das Verfahren einer ungenauen Vergleichung angeblich eben merklicher, thatsächlich übermerklicher Unterschiede. § 19. Unzulänglichkeit der bei Volkmann's Schallversuchen benutzten Methode der eben immer erkennbaren Unterschiede. § 20. Zur Gewinnung zuverlässiger Resultate muss die Methode der eben merklichen Unterschiede mit derjenigen der eben unmerklichen Unterschiede zu einer Methode der kleinsten Unterschiede combinirt werden. § 21. Beweis für die Nothwendigkeit dieser Combination. § 22. Vergleich der Methode der kleinsten Unterschiede und derjenigen der r. u. f. Fälle. § 23. Die Art der Anwendung der Methode der eben merklichen Unterschiede bei den Schattenversuchen Volkmann's und anderen Versuchsreihen.

6. Capitel. Die Methode der mittleren Fehler . S. 71—80.

§ 24. Allgemeine Darstellung dieser Methode. § 25. Das der Tendenz derselben am meisten entsprechende Versuchsverfahren. §§ 26, 27. Man ist auf keinen Fall berechtigt, den mittleren Fehler gleich von vorn herein als eine dem Unterschiedsschwellenwerthe proportionale und zur Prüfung des Weber'schen Gesetzes taugliche Grösse zu betrachten.

7. Capitel. Die bisherigen Versuche nach der Methode der mittleren Fehler S. 81—90.

§ 28. Nur von Volkmann's Augenmaassversuchen ist die Art ihrer Anstellung näher bekannt. Dieselben sind thatsächlich nach einer Methode der mittleren Abweichung vom Mittelwerthe des eben unmerklichen Unterschiedes angestellt worden. § 29. Die Resultate dieser Versuche Volkmann's erklären sich nur unter der Voraussetzung, dass das Präcisionsmaass bei wachsender Reizstärke sich analog verhalte wie die absolute Unterschiedsempfindlichkeit. § 30. Die Methode der mittleren Abweichung vom Mittelwerthe des eben merklichen Unterschiedes. Rückblick auf Capitel 6 und 7.

8. Capitel. Die Methode der übermerklichen Unterschiede S. 90—102.

§ 31. Einführung dieser Methode durch Plateau, Delboeuf und Breton. § 32. Das Maass der erwiesenen Anwendbarkeit derselben. Die Behauptung, dass nur die Methode der kleinsten Unterschiede, nicht aber eine isolirte Anwendung der Methode der eben merklichen Unterschiede zuverlässige Resultate ergeben könne, wird durch gewisse Versuchsergebnisse Delboeuf's bestätigt. § 33. Die Genauigkeit und Sicherheit der Vergleichung übermerklicher Helligkeitsunterschiede hängt nicht sowohl von dem Grade der Uebermerklichkeit der Unterschiede als vielmehr von den absoluten Intensitäten der Unterschiedscomponenten ab. § 34. Erklärung dieses Sachverhalts. § 35. Vorzüge und Mängel der Methode der übermerklichen Unterschiede.

Zweiter Abschnitt.

Die Thatfachen des Weber'schen Gesetzes.

1. Capitel. Versuche mit verdunkelnden Gläsern S. 102—105.
§ 36. Fechner's Versuche mit verdunkelnden Gläsern.
2. Capitel. Schattenversuche S. 106—121.
§ 37. Versuchsmaassregeln, die bei Schattenversuchen zu beobachten sind. § 38. Bouguer's Versuche. § 39. Arago's Versuche. § 40. Volkmann's ältere Versuche. § 41. Volkmann's neuere Versuchsreihen; Camerer's Versuche. § 42. Aubert's Kerzenversuche. § 43. Aubert's Versuche mit Diaphragmaöffnungen.
3. Capitel. Scheibenversuche S. 121—130.
§ 44. Masson's Versuche. § 45. Beobachtungen von Helmholtz und Delboeuf. § 46. Auberts Scheibenversuche. § 47. Vorzug der Scheibenversuche vor den Schattenversuchen.
4. Capitel. Masson's Versuche bei instantaner Beleuchtung rotirender Scheiben S. 130—138.
§ 48. Beschreibung des Versuchsverfahrens. § 49. Masson's Versuche nach der Methode der mittleren Abweichung vom Mittelwerthe des eben merklichen Unterschiedes. § 50. Desselben Versuche nach der Methode der eben merklichen Unterschiede.
5. Capitel. Die Beziehung der Sterngrössen zu den Sternintensitäten S. 139—160.
§ 51. Schwierigkeiten der Grössenschätzung. § 52. Herschel's Resultate. § 53. Die Ergebnisse der photometrischen Sternmessungen von Steinheil, Stampfer, Dawes, Johnson, Pogson, Seidel, Zöllner, Wolff. § 54. Nachweis, dass der von Dawes erhaltene Werth des Exponenten der Sternintensitätenreihe in Folge eines Mangels des von Dawes angewandten photometrischen Verfahrens zu gross ausgefallen sein muss. § 55. Die Beziehung des zwischen Sterngrösse und Sternintensität bestehenden Verhältnisses zum Weber'schen Gesetze. § 56. Nutzen dieser Untersuchungen. Ob der bestehende Werth des Exponenten der Sternintensitätenreihe aus besonderen Gründen gewählt worden sei.
6. Capitel. Versuche nach der Methode der übermerklichen Unterschiede S. 161—165.
§ 57. Delboeuf's Versuchsergebnisse. § 58. Breton's Beobachtungen.
7. Capitel. Versuche mit farbigem Lichte . . . S. 165—175.
§ 59. Unzulänglichkeit der hierher gehörigen Versuche von Aubert, Masson u. A. § 60. Lamansky's Versuche. § 61. Dobrowolsky's Versuchsverfahren. § 62. Versuchsergebnisse von Dobrowolsky, Bohn und Vierordt.

8. Capitel. Rückblick auf die Resultate sämmtlicher auf das Weber'sche Gesetz bezüglichen Untersuchungen im Gebiete des Gesichtssinnes S. 176—189.

§ 63. Grad der Gültigkeit des Weber'schen Gesetzes nach den bisherigen Lichtversuchen. Die Versuche von Förster, Posch u. A.

§ 64. Die von Aubert und Helmholtz aufgestellten Formeln. Schwierigkeit, eine triftige Formel für die Abhängigkeit der Unterschiedsempfindlichkeit von der absoluten Lichtstärke aufzustellen. § 65. Die beständige subjective Erregung des Sehorganes ist ungeeignet, die untern Abweichungen vom Weber'schen Gesetze zu erklären. § 66. Dasselbe muss von der Adaptation der Netzhaut behauptet werden. § 67. Die nach der Methode der mittleren Fehler angestellten Versuche von Steinhil, Trannin und Camerer.

9. Capitel. Gewichtsversuche S. 189—204.

§§ 68, 69, 70. Weber's Gewichtsversuche. § 71. Resultate der Fechner'schen Gewichtsversuche. § 72. Die Versuche von Biedermann und Löwit. § 73. Einfluss des eigenen Gewichtes der hebenden Armtheile.

10. Capitel. Das Augenmaass S. 205—217.

§ 74. Die Augenmaassversuche Weber's. § 75. Die Versuche von Fechner und von Hegelmayer. §§ 76, 77. Die Versuchsreihen von Volkmann und Chodin. § 78. Untriftigkeit der Fechner'schen Zerlegung des mittleren Fehlers in 2 Componenten. § 79. Aus den Augenmaassversuchen folgt eine annähernde Gültigkeit des Weber'schen Gesetzes für den Muskelsinn der Augenmuskeln. § 80. Wundt's Versuche betreffs der Empfindlichkeit für Aenderungen der Convergenzstellung der Augen.

11. Capitel. Versuche mit Schall-, Geschmacks- und Temperaturreizen S. 217—223.

§ 81. Volkmann's Schallversuche und Keppler's Versuche mit Geschmacksreizen. § 82. Die Versuche im Gebiete des Temperatursinnes von Fechner, Weber, Nothnagel, Lindemann.

Dritter Abschnitt.

Die Deutung des Weber'schen Gesetzes.

1. Capitel. Die psychophysische und die physiologische Auffassung des Weber'schen Gesetzes . . . S. 224—233.

§ 83. Das Maass der Gültigkeit des Weber'schen Gesetzes nach den Untersuchungen des zweiten Abschnittes. § 84. Zwei Gruppen von Auffassungen dieses Gesetzes, je nachdem gleiche Grösse gleich merklicher Empfindungszuwüchse vorausgesetzt wird oder nicht. § 85. Ableitung der corrigirten Maassformel. § 86. Die physiologische und psychophysische Deutung dieser Formel.

2. Capitel. Die Denkbarkeit eines annähernd logarithmischen Abhängigkeitsverhältnisses zwischen 2 physischen Vorgängen; Erörterung der sogenannten Thatsache der Reizschwelle S. 233—246.

§ 87. Logarithmische Beziehung zwischen 2 physischen Vorgängen denkbar. § 88. Das Bestehen der Reizschwelle nicht sicher nachweisbar. § 89. Dasselbe würde auf physiologischem Wege sehr leicht erklärt werden können. § 90. Ein Zusammenhang zwischen Reizschwelle und Unterschiedsschwelle, der eine physiologische Deutung ersterer verböte, existirt nicht.

3. Capitel. Die Abhängigkeit der Unterschiedsempfindlichkeit von der Reizqualität S. 246—265.

§ 91. Die physiologische Auffassung des Weber'schen Gesetzes vermag die Art der von ihr angenommenen Erregungscurve von einem einzigen einheitlichen Gesichtspunkte aus zu erklären; von der psychophysischen Auffassung gilt nicht das Entsprechende. §§ 92, 93, 94. Wird vorausgesetzt, dass gleich merkbliche Intensitätszuwüchse, welche zu Empfindungen verschiedener Qualität, aber desselben Sinnesgebietes hinzukommen, auch gleich grosse Empfindungszuwüchse seien, so muss die psychophysische Auffassung, in Hinblick auf die tatsächliche Abhängigkeit der Unterschiedsempfindlichkeit von der Reizqualität, die Annahme annähernder Proportionalität zwischen Sinnesreiz und Nervenerregung durch die Annahme eines weniger einfachen functionellen Verhältnisses zwischen beiden Vorgängen ersetzen. § 95. Die Abhängigkeit der Unterschiedsempfindlichkeit von der Reizqualität kann ihren Grund im Wesentlichen nicht darin haben, dass die Grösse des eben merklichen Empfindungszuwuchses je nach der Empfindungsqualität sich ändert. § 96. Vielmehr fordert der Zusammenhang, in welchem die Abhängigkeit der Unterschiedsempfindlichkeit von der Reizqualität und Reizungsstelle zu verschiedenen nur physiologisch deutbaren Erscheinungen steht, eine im Wesentlichen physiologische Erklärung jenes Verhaltens der Unterschiedsempfindlichkeit.

4. Capitel. Das Parallelgesetz S. 266—275.

§ 97. Ungültigkeit des Parallelgesetzes in räumlicher Hinsicht. Eingeschränktere Definition desselben. § 98. Unrichtigkeit der Behauptung Fechner's, dass dieses Gesetz mit der physiologischen Auffassung des Weber'schen Gesetzes nicht vereinbar sei. § 99. Die thatsächlichen Abweichungen vom Parallelgesetze und deren Erklärung.

5. Capitel. Die Abhängigkeit der Tonhöhe von der Schwingungszahl S. 276—294.

§§ 100, 101. Die Klangverwandtschaft als maassgebendes Princip beim Aufbau der Tonleitern, auch bei Einschlebung kleinerer Zwischenintervalle. § 102. Unrichtigkeit des von Wundt hiegegen erhobenen

Einwandes. § 103. Auch wenn uns ein Intervall auf verschiedener Höhenstufe gleich gross erscheinen sollte, würde hieraus nicht nothwendig folgen, dass das Weber'sche Gesetz (in erweiterter Fassung) für die Tonhöhen Gültigkeit besitze. § 104. Zur Entscheidung der Frage, ob das Weber'sche Gesetz im Gebiete der Tonhöhen mit mehr oder weniger Annäherung gültig sei, sind die bisherigen Versuche von Preyer u. A. unzulänglich. Auch die thatsächliche Gültigkeit des Weber'schen Gesetzes für die Tonhöhen würde kein Beweis für die Richtigkeit der psychophysischen Auffassung sein.

6. Capitel. Das functionelle Verhältniss zwischen Sinnesreiz und Nervenirregung nach den bisherigen physiologischen Untersuchungen S. 294—310.

§ 105. Die Versuche von Dewar und M'Kendrick. § 106. Die Versuche Fick's. § 107. Die von Mach, Hering, Netter und H. de Parville behufs physiologischer Erklärung eines langsamen Wachstums der Sinnesempfindung angeführten Gesichtspunkte.

7. Capitel. Die Gültigkeit des Weber'schen Gesetzes im Gebiete des Muskelsinnes S. 311—334.

§ 108. Die physiologische Auffassung des Weber'schen Gesetzes kann die Gültigkeit dieses Gesetzes im Gebiete des Muskelsinnes leicht erklären, wenn sie annimmt, dass der sog. Kraftsinn durch die Empfindungen sensibler Muskelnerven vermittelt werde. § 109. Die thatsächliche Existenz sensibler Muskelnerven und eigentlicher Muskelempfindungen. § 110. Die Erfahrungen, die in pathologischen Fällen, insbesondere in Fällen von Muskelerkrankung, gemacht worden sind, sprechen eher für als gegen die obige Annahme betreffs des Kraftsinnes. § 111. Die Versuche von Bernhardt. Rückblick auf die Erörterungen dieses Capitels.

8. Capitel. Die Proportionalität des Präcisionsmaasses und der absoluten Unterschiedsempfindlichkeit . . S. 334—348.

§ 112. Die Proportionalität des Präcisionsmaasses und der absoluten Unterschiedsempfindlichkeit ist als eine Bestätigung der physiologischen Auffassung des Weber'schen Gesetzes zu betrachten, wenn die Voraussetzung gilt, dass die zufälligen Fehlervorgänge im Inneren unseres Organismus stattfindende Vorgänge sind, die sich als positive oder negative Erregungszuwächse, deren Grössen von der Intensität der vorhandenen Nervenirregung unabhängig sind, auffassen lassen. § 113. Thatsachen, welche für diese Voraussetzung sprechen. § 114. Die physiologische Auffassung des Weber'schen Gesetzes besitzt den Vorzug, dass nur nach ihr, nicht aber nach der psychophysischen Auffassung ein näherer Zusammenhang zwischen dem Verhalten der absoluten Unterschiedsempfindlichkeit bei wachsender Reizstärke und dem analogen Verhalten des Präcisionsmaasses bestehen kann. Die Proportionalität dieser beiden Grössen braucht keine ganz allgemeine zu sein.

9. Capitel. Die psychophysische Deutung der sogenannten Thatsache der Reizschwelle und des Weber'schen Gesetzes in psychologischer und metaphysischer Hinsicht S. 348—374.

§ 115. Die Behauptung Fechner's, dass gewisse Erscheinungen der sinnlichen Aufmerksamkeit, die Unterscheidung bewusster und unbewusster Empfindungen, das Phänomen von Schlaf und Wachen und andere ähnliche Thatsachen sich nur mit der psychophysischen Deutung der Reizschwelle und des Weber'schen Gesetzes vertragen, beruht auf einer Anzahl zum Theil unhaltbarer, zum Theil wenigstens unerwiesener Voraussetzungen. § 116. Fechner's psychophysisches Gesetz besitzt weit geringere Wahrscheinlichkeit als die Annahme, dass die Empfindung der psychophysischen Thätigkeit proportional gehe, und ist in der gegenwärtig vorliegenden Fassung wegen der aus ihm folgenden negativen Empfindungswerthe sogar unhaltbar. § 117. Vergleich der physiologischen und psychophysischen Auffassung des Weber'schen Gesetzes auf Grund aller bisherigen Erörterungen. Angabe der Correctur, welche an Fechner's psychophysischem Gesetze nothwendig angelbracht werden muss, wenn die psychophysische Deutung des Weber'schen Gesetzes überhaupt noch aufrecht erhalten werden soll.

10. Capitel. Bernstein's Auffassung des Weber'schen Gesetzes S. 374—381.

§ 118. Bernstein's Ansicht. § 119. Ward's Deutung der Unterschiedsschwelle.

11. Capitel. Die Wahrscheinlichkeit der corrigirten Maassformel S. 382—403.

§ 120. Die Denkbareit einer psychologischen Auffassung des Weber'schen Gesetzes. § 121. Vertretung dieser Auffassung durch Plateau und Brentano. Unstichhaltigkeit des von Letzterem für seine Ansicht angeführten Beweisgrundes. Kritik der psychologischen Auffassung. § 122. Die Beobachtungsergebnisse, welche Hering gegen die Annahme gleicher Grösse gleich merklicher Empfindungszuwächse anführt, widersprechen dieser Annahme nicht im Mindesten. § 123. Ebenso ist der von Langer gegen diese Annahme erhobene Einwand und überhaupt Langer's ganze Auffassung eine gänzlich unerwiesene, den Thatsachen nicht genügende und sich selbst widersprechende. § 124. Auch Delboeuf's Correctur der Fechner'schen Maassformel muss für eine wenig glückliche erachtet werden.

Vierter Abschnitt.

Die Zweckmässigkeit des Weber'schen Gesetzes.

1. Capitel. Die Wiedererkennung früher wahrgenommener Objecte S. 403—408.

§ 125. Die Wiedererkennung eines durch seine Helligkeitsabstufungen, Dimensionsverhältnisse u. dergl. charakterisirten Objectes

hängt nicht davon ab, dass die Intensitäten der von dem Objecte hervorgerufenen Empfindungen dieselben sind wie früher, sondern nur davon, dass die Merklichkeit der Unterschiede dieser Empfindungen bei Aenderung der Beleuchtung des Objectes, des Abstandes desselben und dergl. m. constant bleibt. Wichtigkeit der Variabilität der Pupillenweite und der Netzhautadaptation.

2. Capitel. J. J. Müller's und Hering's teleologische Standpunkte.
S. 408—425.

§ 126. Unstichhaltigkeit des von J. J. Müller für die Zweckmässigkeit des Fechner'schen Gesetzes Angeführten. § 127. Hering's gegen die Annahme der corrigirten Maassformel gerichtete teleologische Betrachtungen stützen sich auf ganz unerwiesene und unhaltbare Voraussetzungen.

§ 1.

Werden zwei Sinnesreize, deren Qualität dieselbe, aber deren Intensität eine verschiedene ist, nach einander oder an verschiedenen Stellen zur Einwirkung auf unser entsprechendes Sinnesorgan gebracht, so treten nicht bloss zwei verschieden intensive Empfindungen ein, sondern, falls der Unterschied der beiden Reize eine gewisse Grösse übersteigt, werden wir uns auch dessen bewusst, dass die beiden Empfindungen verschiedene Intensitäten besitzen, und vermögen darüber zu urtheilen, ob der Unterschied der beiden Empfindungen, bez. Reizstärken, von beträchtlicher, mittlerer oder geringer Grösse sei. Man bezeichnet diese Fähigkeit, vermöge welcher der Unterschied zweier gegebener Reizgrössen uns in höherem oder geringerem Grade merklich werden kann, als die Unterschiedsempfindlichkeit. Dieselbe ist offenbar um so grösser, je merklicher uns ein Reizunterschied von gegebener Grösse erscheint, oder je kleiner der Unterschied zweier Reizstärken sein muss, um uns in bestimmtem Maasse merklich zu erscheinen. Von vorn herein scheinen sich uns daher zur Gewinnung eines Maasses der Unterschiedsempfindlichkeit zwei Wege darzubieten, nämlich dieselbe entweder den Graden der Merklichkeit proportional zu setzen, welche ein und derselbe Reizunterschied unter den betreffenden, verschiedenen Versuchsumständen besitzt, oder den Grössen derjenigen Reizdifferenzen reciprok zu nehmen, welche bei den verschiedenen Versuchsbedingungen einen und denselben Grad der Merklichkeit erreichen. Der erstere Weg ist uns jedoch thatsächlich verschlossen, da wir die Grade der verschiedenen Merklichkeiten, welche ein gegebener Reizunterschied unter wechselnden Versuchsumständen für uns besitzt, durch bestimmte Zahlenverhältnisse nicht auszudrücken vermögen, also z. B. ohne Willkür nicht sagen können,

dass uns der Unterschied zweier gegebener Gewichte in diesem Falle gerade noch einmal so merklich sei als in jenem Falle. Wohl aber steht uns der zweite Weg frei, da wir mittels mehrerer sogenannter psychophysischer Maassmethoden im Stande sind, für verschiedene Versuchsumstände diejenigen Reizunterschiede zu ermitteln, welche eine und dieselbe bestimmte Merklichkeit für uns besitzen. Wir setzen also die Unterschiedsempfindlichkeit im Allgemeinen der Grösse desjenigen Reizunterschiedes reciprok, welcher bei den gegebenen Versuchsbedingungen einen bestimmten Grad der Merklichkeit besitzt. Es fragt sich nur noch, welcher bestimmte Grad der Merkbarkeit des Reizunterschiedes am geeignetsten ist, dem Maasse der Unterschiedsempfindlichkeit zu Grunde gelegt zu werden. Wollte man als denjenigen Unterschied, welchem man die Unterschiedsempfindlichkeit reciprok setzt, einen mehr als eben merklichen, kurz einen übermerklichen Reizunterschied benutzen, so würden zwar allenfalls bei Anwendung eines geeigneten Versuchsverfahrens die von einem und demselben Beobachter gefundenen Werthe der Unterschiedsempfindlichkeit mit einander vergleichbar sein, keineswegs aber die von verschiedenen Beobachtern erhaltenen Werthe. Denn es würde durchaus keine Gewähr dafür bestehen und durch keinerlei Maassregeln, es sei denn durch Zufall, erreicht werden können, dass genau derjenige Grad der Uebermerklichkeit des Reizunterschiedes, welchen der eine Beobachter seinen Bestimmungen der Unterschiedsempfindlichkeit zu Grunde legt, auch von dem anderen benutzt werde. Als der einzige Reizunterschied, dessen Merklichkeit wenigstens principiell eine genau fixirbare und von verschiedenen Beobachtern genau reproducirbare Grösse ist, muss ohne Zweifel derjenige Unterschied betrachtet werden, welcher nur um das Geringste vermindert zu werden braucht, um eben unmerklich zu werden, oder welcher nur die kleinste Erhöhung zu erfahren braucht, um eben merklich zu werden. Wir setzen daher die Unterschiedsempfindlichkeit allgemein der Grösse des eben merklichen Reizunterschiedes, welcher von dem eben unmerklichen Unterschiede nur um ein unendlich Kleines verschieden erscheint, reciprok, und zwar unterscheiden wir eine absolute und eine relative Unterschiedsempfindlichkeit, je nachdem dieselbe dem absoluten oder dem relativen, d. i. durch die geringere der beiden gegebenen Reizstärken dividirten, Werthe des eben merklichen Reizunterschiedes reciprok genommen wird.

Die Abhängigkeit der in dieser Weise definirten Unterschiedsempfindlichkeit von der Intensität desjenigen Reizes, mit welchem ein anderer, intensiverer Reiz gleicher Art verglichen werden soll, glaubt man nun mit mehr oder weniger Annäherung durch ein Gesetz ausdrücken zu können, nach welchem die Intensitäten zweier gleichartiger Reize, um uns einen Unterschied von bestimmter Merklichkeit, z. B. einen eben merklichen Unterschied, darzubieten, nicht etwa eine bestimmte, absolute Differenz zeigen, sondern vielmehr in einem bestimmten Verhältnisse zu einander stehen müssen; ein Gesetz also, nach welchem die absolute Unterschiedsempfindlichkeit im umgekehrten Verhältnisse derjenigen Reizintensität steht, von welcher eine andere unterschieden werden soll, oder die relative Unterschiedsempfindlichkeit bei jeder Grösse der Reizintensität dieselbe bleibt. E. H. Weber hat dieses Gesetz in ähnlicher, allerdings nicht so bestimmter Fassung¹⁾ auf Grund eigener, in verschiedenen Sinnesgebieten angestellter Versuche bereits im Jahre 1834 ausgesprochen; daher wir dasselbe nach ihm benennen. Bezeichnen wir die Intensität eines Reizes kurz als die absolute Intensität desselben, wenn es darauf ankommt, hervorzuheben, dass dieselbe in ihrer Beziehung zu einer allen Reizintensitäten gleicher Art untergelegten Einheit, nicht aber in ihrem Verhältnisse zu einer andern Reizstärke, mit welcher sie gerade verglichen werden soll, aufzufassen sei, so erhalten wir das Weber'sche Gesetz in seiner einfachsten Form: Die relative Unterschiedsempfindlichkeit ist unabhängig von der absoluten Reizstärke.

Wir stellen uns nun innerhalb dieser Schrift die Aufgabe, erstens die Maassmethoden einer kritischen Untersuchung zu unterwerfen, mittels deren man die Gültigkeit des Weber'schen Gesetzes auf experimentellem Wege zu prüfen pflegt, zweitens den Grad und Umfang der Gültigkeit dieses Gesetzes auf Grund der bisherigen Experimentaluntersuchungen zu erörtern, drittens die Haltbarkeit der bisherigen Deutungen dieses Gesetzes näher zu untersuchen und viertens die Zweckmässigkeit der annähernden Gültigkeit desselben darzulegen.

Zunächst fügen wir noch ein Verzeichniss der in den Citaten

¹⁾ E. H. Weber, Annot. Anat., p. 172: „In observando discrimine rerum inter se comparatarum non differentiam rerum, sed rationem differentiae ad magnitudinem rerum inter se comparatarum percipimus.“

oft zu erwähnender Schriften und Abhandlungen vorkommenden Abkürzungen bei und geben die Bedeutung einiger Buchstaben an, deren wir uns innerhalb dieses Werkes behufs kurzer Bezeichnung gewisser Vorgänge, Zahlenwerthe u. dergl. durchgehends bedienen.

Verzeichniss einiger Abkürzungen.

- Annalen der Physik und Chemie, herausgegeben von J. C. Poggen-
dorf. — Pogg. Annal.
- Arago's sämtliche Werke, deutsch herausgeg. von Hankel. —
Arago, a. a. O.
- Archiv für Anatomie, Physiologie und wissenschaftliche Medicin,
herausgeg. früher von J. Müller, jetzt von C. B. Reichert
und E. Du Bois-Reymond. — J. Müller's Arch. oder Rei-
chert's Arch.
- Archiv für Ophthalmologie, herausgeg. früher von A. von Gräfe,
jetzt von F. Arlt etc. — Arch. f. Ophth.
- Archiv für pathologische Anatomie und Physiologie u. s. w., heraus-
geg. von R. Virchow. — Virchow's Arch.
- Archiv für physiologische Heilkunde, herausgeg. von K. Vierordt.
— Vierordt's Arch.
- Archiv für Psychiatrie und Nervenkrankheiten, herausgeg. von
Dr. B. Gudden etc. — Arch. f. Psychiatrie.
- H. Aubert, Physiologie der Netzhaut, Breslau 1865. — Aubert,
a. a. O.
- J. Bernstein, Untersuchungen über den Erregungsvorgang im
Nerven- und Muskelsysteme, Heidelberg 1871. — Bern-
stein, a. a. O.
- Cosmos, Les Mondes, revue encyclopédique etc., redigée par
Moigno. — Cosmos.
- J. Delboeuf, Étude psychophysique, in den Mémoires couronnés etc.
publiés par l'académie royale de Belgique, T. XXIII. (1873).
— Delboeuf, a. a. O.
- Théorie générale de la sensibilité, in den Mémoires couron-
nés etc., publ. par l'académie royale de Belgique, T. XXVI.
(1875). — Delboeuf, Théorie générale etc.
- G. Th. Fechner, Elemente der Psychophysik, Leipzig 1860. —
Fechner, Ps.

- G. Th. Fechner, Ueber ein psychophysisches Grundgesetz u. s. w. in den Abhandlungen der sächs. Ges. d. Wiss., Math.-phys. Cl., Bd. IV. — Fechner, Ps. Gr.
- Ueber die Frage des psychophysischen Grundgesetzes mit Rücksicht auf Aubert's Versuche, in den Ber. über die Verhandl. der sächs. Ges. d. Wiss., Math.-phys. Cl., von 1864. — Fechner, Ueber die Frage etc.
- A. Fick, Lehrbuch der Anatomie und Physiologie der Sinnesorgane, Lahr 1864. — Fick, a. a. O.
- H. Helmholtz, Handbuch der Physiologischen Optik, Leipzig 1867. — Helmholtz, Ph. O.
- Die Lehre von den Tonempfindungen u. s. w., 3. Ausgabe, Braunschweig 1870. — Helmholtz, Tonempf.
- E. Hering, Zur Lehre von der Beziehung zwischen Leib und Seele, 1. Mittheilung, Ueber Fechner's psychophysisches Gesetz, im LXXII. Bande der Sitzungsber. der Wiener Akad. d. Wiss., III. Abth. (1875). — Hering, a. a. O.
- Klinische Monatsblätter für Augenheilkunde, herausgeg. von Zehender. — Klin. Monatsbl. f. Augenheilk.
- P. Langer, Die Grundlagen der Psychophysik, Jena 1876. — Langer, a. a. O.
- Masson, Études de photométrie électrique, in den Annales de chimie et de physique par Gay-Lussac etc., 3. Sér. T. XIV. — Masson, a. a. O.
- Der Naturforscher, Wochenblatt zur Verbreitung der Fortschritte in den Naturwissenschaften, herausgeg. von Dr. W. Sklarek. — Naturf.
- Steinheil, Elemente der Helligkeitsmessungen am Sternenhimmel, in den Abhandl. der Math.-phys. Cl. der K. Bayr. Akad. d. Wiss., Bd. II. (1837). — Steinheil, a. a. O.
- A. Volkmann, Physiologische Untersuchungen im Gebiete der Optik, erstes Heft, Leipzig 1863. — Volkmann, a. a. O.
- J. Ward, An attempt to interpret Fechners Law, in Mind a quarterly Review of psychology and philosophy, no. IV. (Oct. 1876). — Ward, a. a. O.
- E. H. Weber, Der Tastsinn und das Gemeingefühl, in R. Wagner's Handwörterbuch der Physiol., III., 2. — Weber, Tasts. u. Gemeingef.
- Annotationes Anatomicae et Physiologicae, Lipsiae 1851. — Weber, Annot. Anat.

- W. Wundt, Beiträge zur Theorie der Sinneswahrnehmung, Leipzig und Heidelberg 1862. — Wundt, Beitr. z. Th. d. S.
 — Grundzüge der Physiologischen Psychologie, Leipzig 1874. — Wundt, Ph. Ps.

Es bedeutet innerhalb dieser Schrift, wenn nicht ausdrücklich etwas Anderes bemerkt ist:

- c, c', c'', C eine Constante,
 e die Basis der natürlichen Logarithmen,
 E die Nervenirregung (psychophysische Thätigkeit),
 E_0 den Schwellenwerth derselben,
 k, k', k'', x, x', x'' eine Constante,
 π die Ludolf'sche Zahl,
 r, r', r'', r''' die Reizstärke,
 ϱ den Schwellenwerth derselben,
 R, R', R'' die Reizbarkeit oder Erregbarkeit oder absolute Empfindlichkeit, welche drei Ausdrücke wir identisch gebrauchen,
 S die absolute Grösse des Unterschiedsschwellenwerthes,
 s, s', s'', s''' die Empfindungsintensität,
 ω den (bei gewisser, mittlerer Reizstärke sich einstellenden) Minimalwerth der relativen Grösse des Unterschiedsschwellenwerthes.
-

Erster Abschnitt.

Die psychophysischen Maassmethoden.

1. Capitel.

Die zufälligen Fehlervorgänge und die zufälligen Beobachtungsfehler.

§ 2.

Wenn es sich darum handelt, die Gültigkeit des Weber'schen Gesetzes zu prüfen, so kommt es nach Obigem zunächst darauf an, für verschiedene Reizstärken die Grösse des eben merklichen Reizzuwuchses zu ermitteln. Von vorn herein könnte man geneigt sein, diese Aufgabe für leicht ausführbar zu halten. Es scheint, als brauche man, um den eben merkbaren Zuwuchs zu einer gegebenen Reizgrösse zu bestimmen, eben nur einen sehr geringen, unmerklichen oder untermerklichen Zuwuchs zu derselben allmählich so lange zu erhöhen, bis er eben von uns erkannt werde; bringe man dieses Verfahren bei einer hinreichenden Anzahl verschiedener Reizintensitäten zur Anwendung, so lasse sich leicht feststellen, in welcher Weise sich der eben merkliche Reizzuwuchs mit der absoluten Reizstärke ändere. Allein die Sache verhält sich bei weitem nicht so einfach. Hat man nämlich die Grösse des eben merklichen Unterschieds zweier Reizstärken anscheinend mit Genauigkeit dadurch bestimmt, dass man die untermerkliche Differenz zweier gegebener Reizintensitäten allmählich so lange vergrössert hat, bis sie eben merkbar wurde, so wird man, wenn man kurz darauf diesen abgeänderten Reizunterschied zu wiederholten Malen betreffs seiner Merklichkeit prüft, die Wahrnehmung

machen, dass derselbe in einer Anzahl von Fällen gar nicht mehr merklich ist, in anderen Fällen hingegen deutlicher als ein nur eben erkennbarer Unterschied erscheint. Von vorn herein könnte man geneigt sein, dieses Verhalten durch die Annahme zu erklären, dass die Grösse, welche der Unterschied zweier gleichartiger Empfindungsintensitäten besitzen muss, um von uns eben wahrgenommen zu werden, eine fortwährend schwankende sei und mithin selbstverständlich auch die Grösse des eben merklichen Reizunterschiedes sich fortwährend ändere. Indessen ein solcher Erklärungsversuch würde ganz unhaltbar sein. Hebt man nämlich, um Einfachheit halber das Beispiel von Gewichtsversuchen zu Grunde zu legen, zwei nur sehr wenig verschiedene Gewichte unter möglichst gleichen und unveränderten Versuchsumständen zu oft wiederholten Malen unmittelbar nach einander mit einer und derselben Hand in die Höhe, indem man sich nach jeder Doppelhebung beider Gewichte sofort entscheidet, welches von beiden, das zuerst oder das zuzweit erhobene, als das schwerere erscheine, so wird man sich nur in einer gewissen Anzahl von Fällen richtig für das thatsächlich schwerere Gewicht entscheiden, in anderen mehr oder weniger zahlreichen Fällen wird das Urtheil über das Verhältniss der beiden Gewichte ein unentschiedenes sein, in anderen Fällen endlich wird man sogar irrthümlich das thatsächlich leichtere Gewicht für das schwerere erklären. Diese letzten Fälle, wo das leichtere der beiden Gewichte uns fälschlich als das grössere erscheint, bleiben nach jener Annahme, dass die Grösse des eben merklichen Empfindungsunterschiedes und in Folge dessen auch die des entsprechenden Reizunterschiedes eine unregelmässig schwankende sei, offenbar ganz unerklärbar. Um diese Fälle und andere ähnliche Erfahrungen erklären zu können, müssen wir vielmehr annehmen, dass, wenn irgend ein äusserer Reiz auf ein Sinnesorgan einwirkt, z. B. ein bestimmtes Gewicht erhoben wird, alsdann unsere Auffassung dieses Gewichts durch gewisse, sei es innerhalb, sei es ausserhalb unseres Organismus stattfindende, zufällige und unregelmässige Vorgänge mit beeinflusst wird, welche bewirken, dass sich das Gewicht in unserer Empfindung im Allgemeinen grösser oder kleiner darstellt, als es in Wirklichkeit ist. Nach dieser Annahme kann es in Folge des Miteinflusses jener zufälligen Vorgänge zuweilen geschehen, dass sich in unserer Empfindung das leichtere zweier wenig verschiedener Gewichte grösser und das schwerere Gewicht kleiner dar-

stellt, als es thatsächlich ist, und demzufolge das erstere, thatsächlich leichtere Gewicht als das schwerere erscheint. Die Zahl jener zufälligen und unregelmässigen Vorgänge, die im Einzelfalle einer Gewichtshebung, um uns Kürze halber wieder an das Beispiel von Gewichtsversuchen zu halten, mit von Einfluss auf die Intensität der eintretenden Empfindung sind, ist höchst wahrscheinlich als eine sehr grosse vorauszusetzen. Aehnlich jedoch wie z. B. die Physik, um Umständlichkeiten des Ausdrucks zu vermeiden, bei Erörterung gewisser Gleichgewichts- und Bewegungszustände der Körper ohne Nachtheil das ganze Gewicht eines Körpers in einem Punkte, dem Schwerpunkte desselben, vereinigt denkt, so können auch wir hier der Einfachheit halber ohne Nachtheil von der Vorstellungsweise ausgehen, dass in jedem Einzelfalle einer Gewichtshebung die eintretende Empfindungsintensität nicht durch eine Mehrzahl zufälliger und unregelmässiger Fehlerursachen mit beeinflusst werde, sondern von dem Einflusse nur eines einzigen derartigen zufälligen und unregelmässigen Vorganges mit abhängen. Wir bezeichnen diesen fingirten Einzelvorgang, dessen Intensität sich selbstverständlich nach den Intensitäten jener thatsächlichen, zahlreichen, sich gegenseitig theils hemmenden, theils verstärkenden Vorgänge richtet, kurz als den zufälligen Fehlervorgang, der sich bei der Auffassung des gehobenen Gewichts mit geltend macht. Im Unterschiede von diesem zufälligen Fehlervorgange verstehen wir unter dem zufälligen Beobachtungsfehler, welcher bei Auffassung eines gegebenen Gewichts begangen wird, denjenigen positiven oder negativen Gewichtszuwuchs, welcher im Falle des Nichtvorhandenseins des zufälligen Fehlervorgangs erforderlich sein würde, damit das gegebene Gewicht dieselbe Empfindungsintensität bewirke, welche es unter der Mitwirkung des zufälligen Fehlervorgangs thatsächlich in uns hervorruft, also kurz diejenige Gewichtsgrosse, deren Hinzufügung zu oder deren Hinwegnahme von dem gegebenen Gewichte dem zufälligen Fehlervorgange äquivalent wirken würde. Der zufällige Beobachtungsfehler ist positiv oder negativ, je nachdem der entsprechende Fehlervorgang dahin wirkt, das gehobene Gewicht grösser oder kleiner erscheinen zu lassen, als es in Wirklichkeit ist. Für die Wahrscheinlichkeiten w der verschiedenen, bei Auffassung eines und desselben Gewichtes vorkommenden zufälligen Beobachtungsfehler δ setzen wir die Gültigkeit des bekannten, vielfach bewährten Fehlergesetzes voraus, nach welchem

$w = ce^{-h^2 \delta^2}$ ist, wo h eine von der Genauigkeit der Beobachtungen und der Maasseinheit, in welcher δ ausgedrückt ist, abhängige Constante und c die Wahrscheinlichkeit des Fehlers von dem Betrage 0 bedeutet.

§ 3.

Man erkennt leicht, wie sehr durch die Existenz jener zufälligen Fehlervorgänge die Aufgabe des psychophysischen Maassverfahrens erschwert wird. Denn wir dürfen selbstverständlich eine Reizgrösse, die in einem einzelnen Beobachtungsfalle zufällig als der eben merkliche Zuwuchs zu einer gegebenen Reizstärke erscheint, die sich aber in so und so vielen anderen Fällen als ein untermerklicher oder übermerklicher Zuwuchs zu dieser Reizstärke herausstellt, nicht willkürlich im Vorzuge vor den übrigen Werthen, welche der eben merkliche Zuwuchs zu der gegebenen Reizstärke in anderen Beobachtungsfällen annimmt, als einen Werth betrachten, der uns als wirkliches Maass der Unterschiedsempfindlichkeit und als erfahrungsmässige Grundlage zu weiter gehenden Erwägungen dienen soll. Als einen solchen Werth dürfen wir vielmehr nur denjenigen, auf directem Wege nie bestimmbar, Reizzuwuchs ansehen, der sich dann, wenn bei Auffassung eines einwirkenden Sinnesreizes gar kein zufälliger Beobachtungsfehler begangen würde, bei jeder einzelnen genauen Beobachtung als der eben merkliche Zuwuchs zu der gegebenen Reizstärke herausstellen würde. Wir bezeichnen diesen relativ constanten und idealen Werth des eben merklichen Reizzuwuchses kurz als den Unterschiedsschwellenwerth. Zur experimentellen Bestimmung dieses Unterschiedsschwellenwerthes bietet sich zunächst die sogenannte Methode der eben merklichen Unterschiede dar, welche zu ihrer Begründung und Benutzung weiterer mathematischer Beihülfe nicht zu bedürfen scheint und von der Voraussetzung ausgeht, dass die Grössen, um welche der eben merkliche Unterschied zweier Reizstärken in verschiedenen Beobachtungsfällen in Folge der zufälligen Fehlervorgänge zu gross oder zu klein ausfällt, sich gegenseitig compensiren müssten, wenn die Anzahl der Einzelbestimmungen des eben merklichen Unterschieds sehr gross genommen und aus den gesammten, für den letztern erhaltenen Werthen das Mittel gezogen würde. Indessen die Erörterung dieser Methode und der thatsächlich oder angeblich nach derselben

angestellten Versuchsreihen ist keineswegs so einfach, wie es vielleicht scheint. Am geeignetsten zur Orientirung über diejenigen Gesichtspunkte, die unseres Erachtens bei Betrachtung und Anwendung der verschiedenen psychophysischen Methoden maassgebend sein müssen, dürfte es sein, zunächst mit einer etwas eingehenden, das Beispiel von Gewichtsversuchen zu Grunde liegenden Erörterung der Methode der richtigen und falschen Fälle zu beginnen.

2. Capitel.

Die Hauptformeln der Methode der r. und f. Fälle.

§ 4.

Wenn es darauf ankommt, zwei gleichzeitig oder nach einander einwirkende Reizstärken, z. B. zwei nach einander gehobene Gewichte P und $P + D$, mit einander zu vergleichen, so kann man den Unterschied D beider Gewichte so klein nehmen, dass man denselben bei öfterer Wiederholung des Versuchs nur in einer gewissen Anzahl r von Fällen richtig erkennt, in einer Anzahl z von Fällen zweifelhaft ist, welches der beiden Gewichte das schwerere sei, und in anderen Fällen, deren Zahl gleich f sei, sich sogar über die Richtung des Unterschieds täuscht, indem man das thatsächlich leichtere Gewicht für das schwerere erklärt und umgekehrt. Die Methode der r. und f. Fälle kommt nun darauf hinaus, aus gegebenen Zahlen r , f und z richtiger, falscher und zweifelhafter Urtheilsfälle, die bei zahlreichen Einzelversuchen unter bestimmten Versuchsumständen erhalten wurden, die den letzteren zugehörige Grösse des Unterschiedsschwellenwerthes zu bestimmen. Und unsere Aufgabe wird es zunächst sein, die mathematische Beziehung näher zu ermitteln, die zwischen jenen Zahlen r , f und z und dem Unterschiedsschwellenwerthe besteht und die Anwendbarkeit der Methode der r. und f. Fälle zur Prüfung des Weber'schen Gesetzes bedingt.

Wie im vorigen Capitel gesehen, wird in Folge gewisser zufälliger Fehlervorgänge, ebenso wie bei Beobachtungen, die im Gebiete der Astronomie, Geodäsie und dergleichen mehr angestellt werden, auch bei Auffassung eines Gewichts P jedes Mal ein

gewisser Beobachtungsfehler δ begangen, d. h. das Gewicht erscheint in Folge jener Vorgänge im Allgemeinen kleiner oder grösser, als es gemäss der Einrichtung unseres Sinnesapparates erscheinen würde, wenn jene Fehlervorgänge nicht vorhanden wären; und zwar drückt der zufällige Beobachtungsfehler δ die Grösse desjenigen positiven oder negativen Zuwuchses aus, der, falls jene zufälligen Fehlervorgänge gar nicht existirten, zu P hinzukommen müsste, damit bei Einwirkung dieses Gewichts diejenige Empfindungsintensität eintrete, welche unter Mitwirkung zufälliger Fehlerursachen bei Auffassung von P thatsächlich eintritt. Bei Gewichtsversuchen, wie solche von Fechner nach der Methode der r. und f. Fälle angestellt wurden, handelt es sich nun aber in jedem einzelnen Falle nicht bloss um die Auffassung eines einzigen Gewichtes P , sondern ausserdem auch noch um die gleichfalls den Einflüssen zufälliger Fehlerursachen unterworfenen Auffassung eines andern Gewichtes $P + D$. Ebenso wie uns das Gewicht P in Folge zufälliger Fehlerursachen so erscheint, als wäre es $= P + \delta$, wo δ positiv oder negativ sein kann, so ist auch die scheinbare Grösse des Gewichtes $P + D$ gleich $P + D + \delta'$ zu setzen, wo δ' den bei Auffassung von $P + D$ begangenen, positiven oder negativen, zufälligen Beobachtungsfehler bezeichnet. Die scheinbare Differenz beider Gewichte, d. h. die Differenz derselben, wie sie sich in unserer Auffassung darstellt, ist also nicht $= D$, sondern vielmehr $= D + \delta' - \delta$ oder, wenn wir $\delta' - \delta$ kurz $= \alpha$ setzen und als den resultirenden Beobachtungsfehler bezeichnen, $= D + \alpha$, wo α positiv oder negativ sein kann. Für die Wahrscheinlichkeiten der verschiedenen, bei Auffassung von P vorkommenden Beobachtungsfehler δ haben wir nach Obigem das bekannte Gauss'sche Fehlergesetz vorauszusetzen; dasselbe gilt von den Wahrscheinlichkeiten der verschiedenen Fehler δ' . Es fragt sich nun, welches Wahrscheinlichkeitsgesetz für die verschiedenen Grössen des resultirenden Beobachtungsfehlers α gelten wird, wie gross also allgemein die Wahrscheinlichkeit dafür ist, dass das Gewicht $P + D$ in Folge der sowohl bei Einwirkung von P als auch bei Auffassung von $P + D$ mitwirkenden zufälligen Fehlerursachen so erscheine, als sei es nicht sowohl um das Zusatzgewicht D als vielmehr um die Grösse $D + \alpha$, wo der Werth von α positiv oder negativ sein kann, von dem andern Gewichte P verschieden. Haben wir diese Frage beantwortet, so werden sich diejenigen Formeln,

mittels deren man aus gegebenen Zahlen richtiger, falscher und zweifelhafter Fälle den zugehörigen Unterschiedsschwellenwerth berechnen kann, leicht ergeben.

§ 5.

Nehmen wir an, es werde bei Auffassung des Gewichts P der positive (d. h. das Gewicht für unsere Auffassung vergrößernde) Beobachtungsfehler $+\delta$ begangen, so wird $P+D$ unserer Empfindung nach um die Grösse $D+\alpha$ grösser als P sein, wenn bei Auffassung von $P+D$ der positive Beobachtungsfehler von dem Betrage $\delta+\alpha$ begangen wird. Wird hingegen bei Wahrnehmung von P ein negativer Fehler $-\delta$ begangen, so muss der bei Auffassung von $P+D$ begangene zufällige Beobachtungsfehler $=\alpha-\delta$ sein, wenn $P+D$ unseren Empfindungen nach das andere Gewicht P um die Grösse $D+\alpha$ übertreffen soll. Nun ist die Wahrscheinlichkeit dafür, dass bei Auffassung von P ein Fehler $+\delta$ begangen werde, $= ce^{-h^2\delta^2}$, und die Wahrscheinlichkeit dafür, dass bei Auffassung von $P+D$ ein Fehler von dem Betrage $\delta+\alpha$, bez. $\alpha-\delta$, vorkomme, $= c'e^{-h^2(\delta+\alpha)^2}$, bez. $= c'e^{-h^2(\alpha-\delta)^2}$. Mithin ist nach bekannter Regel die Wahrscheinlichkeit dafür, dass bei Auffassung von P ein Fehler von der Grösse $+\delta$, bez. $-\delta$, und zugleich bei Auffassung von $P+D$ ein Fehler von dem Betrage $\delta+\alpha$, bez. $\alpha-\delta$, begangen werde, $= ce^{-h^2\delta^2} c'e^{-h^2(\delta+\alpha)^2}$, bez. $= ce^{-h^2\delta^2} c'e^{-h^2(\alpha-\delta)^2}$. Legen wir nun dem Beobachtungsfehler δ alle möglichen Werthe von 0 bis ∞ bei, so ergibt sich die Wahrscheinlichkeit dafür, dass bei Auffassung von P irgend ein beliebiger positiver Beobachtungsfehler $+\delta$ begangen werde, und der bei Auffassung von $P+D$ begangene Beobachtungsfehler um die Grösse α grösser als δ sei, $= cc' \int_0^{\infty} e^{-h^2\delta^2} e^{-h^2(\delta+\alpha)^2} d\delta$, und die Wahrscheinlichkeit dafür, dass bei Auffassung von P irgend ein beliebiger negativer Beobachtungsfehler begangen werde und das Gewicht $P+D$ in Folge der ebenso wie bei Auffassung von P auch bei Einwirkung von $P+D$ sich mit geltend machenden zufälligen Fehlerursachen unseren Empfindungen nach um die

Grösse $D + \alpha$ grösser als P sei, $= cc' \int_0^\infty e^{-h^2 \delta^2} e^{-h'^2 (\alpha - \delta)^2} d\delta$.

Mithin ist die mit $w_{+\alpha}$ zu bezeichnende Wahrscheinlichkeit dafür, dass überhaupt bei Vergleichung von P und $P + D$ letzteres Gewicht unserer Auffassung nach um die Grösse $D + \alpha$ grösser als P sei,

$$\begin{aligned} &= cc' \int_0^\infty e^{-h^2 \delta^2} e^{-h'^2 (\delta + \alpha)^2} d\delta + cc' \int_0^\infty e^{-h^2 \delta^2} e^{-h'^2 (\alpha - \delta)^2} d\delta, \\ &= cc' e^{-h'^2 \alpha^2} \int_0^\infty e^{-(h^2 + h'^2) \delta^2 - 2\alpha h'^2 \delta} d\delta \\ &\quad + cc' e^{-h'^2 \alpha^2} \int_0^\infty e^{-(h^2 + h'^2) \delta^2 + 2\alpha h'^2 \delta} d\delta. \end{aligned}$$

Setzen wir Kürze halber $h^2 + h'^2 = \beta$ und $2\alpha h'^2 = \gamma$, so ist

$$w_{+\alpha} = cc' e^{-h'^2 \alpha^2} \left[\int_0^\infty e^{-\beta \delta^2 - \gamma \delta} d\delta + \int_0^\infty e^{-\beta \delta^2 + \gamma \delta} d\delta \right]. \quad (1)$$

Nun ist

$$e^{-\beta \delta^2 - \gamma \delta} = e^{-\beta \delta^2} \left(1 - \frac{\gamma \delta}{1!} + \frac{(\gamma \delta)^2}{2!} - \frac{(\gamma \delta)^3}{3!} \dots \right),$$

mithin

$$\begin{aligned} \int_0^\infty e^{-\beta \delta^2 - \gamma \delta} d\delta &= \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\pi}{\beta}} - \frac{\gamma}{\beta \cdot 2 \cdot 1!} + \frac{\gamma^2 \cdot 1}{4 \cdot 2!} \sqrt{\frac{\pi}{\beta^3}} - \frac{\gamma^3 \cdot 1!}{\beta^2 \cdot 2 \cdot 3!} \\ &\quad + \frac{\gamma^4 \cdot 3 \cdot 1}{8 \cdot 4!} \sqrt{\frac{\pi}{\beta^5}} - \frac{\gamma^5 \cdot 2!}{\beta^3 \cdot 2 \cdot 5!} + \frac{\gamma^6 \cdot 5 \cdot 3 \cdot 1}{16 \cdot 6!} \sqrt{\frac{\pi}{\beta^7}} \dots \end{aligned}$$

Ebenso findet sich

$$\begin{aligned} \int_0^\infty e^{-\beta \delta^2 + \gamma \delta} d\delta &= \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\pi}{\beta}} + \frac{\gamma}{\beta \cdot 2 \cdot 1!} \\ &\quad + \frac{\gamma^2 \cdot 1}{4 \cdot 2!} \sqrt{\frac{\pi}{\beta^3}} + \frac{\gamma^3 \cdot 1!}{\beta^2 \cdot 2 \cdot 3!} \dots \end{aligned}$$

Demnach ist nach Gleichung (1)

$$\begin{aligned} w_{+\alpha} &= cc' e^{-h'^2 \alpha^2} \left[\sqrt{\frac{\pi}{\beta}} + \frac{\gamma^2 \cdot 1}{2 \cdot 2!} \sqrt{\frac{\pi}{\beta^3}} + \frac{\gamma^4 \cdot 3 \cdot 1}{4 \cdot 4!} \sqrt{\frac{\pi}{\beta^5}} \right. \\ &\quad \left. + \frac{\gamma^6 \cdot 5 \cdot 3 \cdot 1}{8 \cdot 6!} \sqrt{\frac{\pi}{\beta^7}} + \frac{\gamma^8 \cdot 7 \cdot 5 \cdot 3 \cdot 1}{16 \cdot 8!} \sqrt{\frac{\pi}{\beta^9}} \dots \right] \end{aligned}$$

$$= \frac{cc' \cdot e^{-h'^2 \alpha^2} \cdot \sqrt{\pi}}{\sqrt{\beta}} \left[1 + \left(\frac{\gamma^2}{4\beta} \right) \cdot \frac{1}{1!} + \left(\frac{\gamma^2}{4\beta} \right)^2 \cdot \frac{1}{2!} + \left(\frac{\gamma^2}{4\beta} \right)^3 \cdot \frac{1}{3!} + \left(\frac{\gamma^2}{4\beta} \right)^4 \cdot \frac{1}{4!} \dots \right]$$

$$= \frac{cc' \cdot e^{-h'^2 \alpha^2} \cdot \sqrt{\pi} \cdot e^{\frac{\gamma^2}{4\beta}}}{\sqrt{\beta}} \quad \text{Da nun nach Obigem}$$

$$e^{\frac{\gamma^2}{4\beta}} = e^{\frac{\alpha^2 h'^4}{h^2 + h'^2}} \quad \text{und } \sqrt{\beta} = \sqrt{h^2 + h'^2} \text{ ist, so ist offenbar}$$

$$w_{+\alpha} = \frac{cc' \cdot \sqrt{\pi} \cdot e^{-\frac{h^2 h'^2 \alpha^2}{h^2 + h'^2}}}{\sqrt{h^2 + h'^2}} \quad (2)$$

Derselbe Ausdruck wie für $w_{+\alpha}$ findet sich, wie leicht zu erkennen, auch für $w_{-\alpha}$, d. h. für die Wahrscheinlichkeit dafür, dass das Gewicht $P + D$ in Folge der zufälligen Fehlervorgänge unserer Auffassung nach nur um die Grösse $D - \alpha$ grösser, bez. um die Grösse $\alpha - D$ kleiner als P sei. Entspricht aber die Wahrscheinlichkeit dafür, dass bei Auffassung von P und $P + D$ zu Gunsten oder zum Nachtheile von $P + D$ der Fehler α resultire, allgemein dem in Gleichung (2) angegebenen Werthe von $w_{+\alpha}$, so ist die mit $W_0^{\alpha_1}$ zu bezeichnende Wahrscheinlichkeit dafür, dass der resultirende Fehler α innerhalb der Grenzen 0 und $+\alpha_1$ (oder 0 und $-\alpha_1$) liege,

$$= cc' \sqrt{\frac{\pi}{h^2 + h'^2}} \int_0^{\alpha_1} e^{-\frac{h^2 h'^2 \alpha^2}{h^2 + h'^2}} d\alpha.$$

Um den Werth der Constanten (cc') näher zu bestimmen, bedenken wir, dass

$$cc' \sqrt{\frac{\pi}{h^2 + h'^2}} \int_0^{\infty} e^{-\frac{h^2 h'^2 \alpha^2}{h^2 + h'^2}} d\alpha = \frac{1}{2}$$

zu setzen ist. Hieraus ergibt sich $\frac{cc' \pi}{2 h h'} = \frac{1}{2}$, mithin $cc' = \frac{h h'}{\pi}$.

Demnach ist $W_0^{\alpha_1} = \frac{h h'}{\sqrt{\pi} (h^2 + h'^2)} \int_0^{\alpha_1} e^{-\frac{h^2 k'^2 \alpha^2}{h^2 + h'^2}} d\alpha$, oder,

wenn wir $\frac{h h' \alpha}{\sqrt{h^2 + h'^2}} = t$ und mithin $\frac{h h' d\alpha}{\sqrt{h^2 + h'^2}} = dt$ setzen,

$$W_0^{\alpha_1} = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_0^{\frac{h h' \alpha_1}{\sqrt{h^2 + h'^2}}} e^{-t^2} dt. \quad (3)$$

Die Grössen h und h' stellen das Maass der Präcision dar, mit welcher das Gewicht P , bez. $P + D$, aufgefasst wird. Ist das Differenzgewicht D nur sehr klein gegen P , so kann man unter Umständen h ohne merklichen Fehler $= h'$ setzen. Ist D nicht sehr klein gegen P , so setze man $h = h' (1 + \vartheta)$ oder

$$h = \frac{h}{1 + \vartheta}, \text{ mithin } \frac{h h'}{\sqrt{h^2 + h'^2}} = \frac{h}{\sqrt{2 + 2\vartheta + \vartheta^2}}.$$

Alsdann erhält man nach Gleichung (3) die Wahrscheinlichkeit dafür, dass der resultirende Fehler α innerhalb der Grenzen 0 und α_1 (oder 0 und $-\alpha_1$) liege,

$$W_0^{\alpha_1} = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_0^{\frac{h \alpha_1}{\sqrt{2 + 2\vartheta + \vartheta^2}}} e^{-t^2} dt, \quad (4)$$

wo h das Maass der Präcision bedeutet, mit welcher das Gewicht P aufgefasst wird, und, wenn nicht auch 2ϑ , so doch wenigstens ϑ^2 bei Anwendung eines gegen P kleinen D ganz vernachlässigt werden kann.

§ 6.

Das Gewicht $P + D$ wird offenbar in allen den Fällen für grösser als P gehalten werden, in denen die scheinbare Differenz beider Gewichte, die algebraische Summe des Differenzgewichts $+D$ und des zu Gunsten oder zum Nachtheile des Gewichts $P + D$ resultirenden (positiven oder negativen) Fehlers α , positiv und grösser als der zu P gehörige Unterschiedsschwellenwerth S

ist, und in allen den Fällen $< P$ erscheinen, wo α negativ und zwar dem absoluten Werthe nach $> S + D$ ist; zweifelhaft endlich wird das Urtheil immer dann ausfallen, wenn $D + \alpha$ positiv und $< S$ oder negativ und dem absoluten Werthe nach gleichfalls $< S$ ist. Nun ist die relative Anzahl aller der Fälle, in denen $D + \alpha > S$ und positiv ist, falls $S > D$ ist, offenbar gleich der relativen Anzahl $\left(\frac{1}{2}\right)$ aller Fälle, in denen α überhaupt positiv ist, vermindert um die relative Zahl derjenigen Fälle, in denen α positiv, aber $< S - D$ ist, und, falls $S < D$ ist, offenbar gleich der relativen Anzahl aller der Fälle, wo α positiv ist, vermehrt um die relative Zahl derjenigen Fälle, wo α negativ und dem absoluten Werthe nach $< D - S$ ist.

Hieraus ergibt sich $\frac{r}{n}$, das Verhältniss der richtigen Urtheilsfälle zur Gesamtzahl n der Fälle, für den Fall, dass $S > D$ ist, $= \frac{1}{2} - W_0^{S-D}$ und für den Fall, dass $S < D$ ist, $= \frac{1}{2} + W_0^{D-S}$, wo W_0^{S-D} , bez. W_0^{D-S} , die Wahrscheinlichkeit und bei einer hinreichend grossen Gesamtzahl n von Versuchen die relative Anzahl der Fälle bezeichnet, in denen der resultirende Fehler α innerhalb der Grenzen 0 und $S - D$, bez. 0 und $D - S$ liegt. Nun ist nach Gleichung (4)

$$W_0^{S-D} = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_0^{\frac{h(S-D)}{\sqrt{2+2\vartheta+\vartheta^2}}} \frac{e^{-t^2}}{dt} \quad \text{und} \quad W_0^{D-S} = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_0^{\frac{h(D-S)}{\sqrt{2+2\vartheta+\vartheta^2}}} \frac{e^{-t^2}}{dt}.$$

Folglich ist für den Fall, dass $S > D$, d. h. $\frac{r}{n} < \frac{1}{2}$ ist,

$$\frac{r}{n} = \frac{1}{2} - \frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_0^{\frac{h(S-D)}{\sqrt{2+2\vartheta+\vartheta^2}}} \frac{e^{-t^2}}{dt} \quad (5)$$

und für den Fall, dass $S < D$, d. h. $\frac{r}{n} > \frac{1}{2}$ ist,

$$\frac{r}{n} = \frac{1}{2} + \frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_0^{\frac{h(D-S)}{\sqrt{2+2\vartheta+\vartheta^2}}} \frac{e^{-t^2}}{dt} \quad (6)$$

Für den Fall, dass $S = \bar{D}$ ist, muss sich $\frac{r}{n}$ genau $= \frac{1}{2}$ ergeben.

Die relative Anzahl der falschen Fälle $\left(\frac{f}{n}\right)$, in denen die algebraische Summe des immer positiv zu nehmenden Differenzgewichtes D und des resultirenden Beobachtungsfehlers α negativ und dem absoluten Werthe nach $> S$ ist und in Folge dessen $P + D < P$ erscheint, ist offenbar gleich der relativen Anzahl $\left(\frac{1}{2}\right)$ aller Fälle, in denen α negativ ist, vermindert um die relative Zahl aller derjenigen Fälle, in denen α negativ und dem absoluten Werthe nach $< D + S$ ist. Mithin ist allgemein

$$\frac{f}{n} = \frac{1}{2} - \frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_0^{\frac{h(D+S)}{\sqrt{2+2\vartheta+\vartheta^2}}} \frac{e^{-t^2}}{dt} \quad (7)$$

Die relative Zahl der zweifelhaften Urtheilsfälle ist für den Fall, dass $S > D$ ist, gleich der relativen Anzahl der Fälle, in denen α positiv und $< S - D$ ist, vermehrt um die relative Zahl der Fälle, in denen α negativ und $< D + S$ ist. Mithin ist, für den Fall, dass $S > D$ ist,

$$\frac{z}{n} = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \left[\begin{aligned} &+ \frac{h(S-D)}{\sqrt{2+2\vartheta+\vartheta^2}} \\ &\frac{e^{-t^2}}{dt} \quad , \\ &- \frac{h(D+S)}{\sqrt{2+2\vartheta+\vartheta^2}} \end{aligned} \right] \quad (8)$$

was sich auch daraus ergibt, dass $\frac{r}{n} + \frac{f}{n} + \frac{z}{n} = 1$ ist, mithin auch die auf der linken Seite von Gleichung (5), (7) und (8) stehenden Ausdrücke, zusammen addirt, $= 1$ sein müssen.

In gleicher Weise findet sich für den Fall, dass $S < D$ ist,

$$\frac{z}{n} = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \left(\frac{\frac{h(D+S)}{\sqrt{2+2\vartheta+\vartheta^2}}}{e^{-t^2} dt} + \frac{\frac{h(D-S)}{\sqrt{2+2\vartheta+\vartheta^2}}}{e^{-t^2} dt} \right). \quad (9)$$

Die Gleichungen (5), (6) und (7) sind diejenigen Formeln, die uns verstaten, aus experimentell erhaltenen Werthen der Verhältnisse $\frac{r}{n}$ und $\frac{f}{n}$ den zugehörigen Unterschiedsschwellenwerth S zu bestimmen. Ist der bei zahlreichen Einzelversuchen erhaltene Werth von $\frac{r}{n}$ kleiner als $\frac{1}{2}$, so lässt sich aus demselben mittels Gleichung (5) ein bestimmter Werth t_i für $\frac{h(S-D)}{\sqrt{2+2\vartheta+\vartheta^2}}$ berechnen. Ebenso findet sich aus der experimentell erhaltenen Grösse des Verhältnisses $\frac{f}{n}$ mittels Gleichung (7) ein bestimmter Werth t_{ii} für $\frac{h(D-S)}{\sqrt{2+2\vartheta+\vartheta^2}}$. Die Bestimmung der Werthe t_i und t_{ii} wird durch die von Fechner (Ps. I, S. 108 ff.) zusammengestellten sogenannten Fundamental- und Zusatztabellen der Methode der r. und f. Fälle ganz wesentlich erleichtert.

$$\text{Ist nun } \frac{h(S-D)}{\sqrt{2+2\vartheta+\vartheta^2}} = t_i \text{ und } \frac{h(D-S)}{\sqrt{2+2\vartheta+\vartheta^2}} = t_{ii},$$

$$\text{so ist offenbar } 2hS = (t_i + t_{ii}) \sqrt{2+2\vartheta+\vartheta^2}$$

$$\text{und } 2hD = (t_{ii} - t_i) \sqrt{2+2\vartheta+\vartheta^2}.$$

Demnach ist, falls $\frac{r}{n} < \frac{1}{2}$ ist,

$$h = \frac{(t_{ii} - t_i) \sqrt{2+2\vartheta+\vartheta^2}}{2D} \quad (10)$$

$$\text{und } S = \frac{(t_i + t_{ii}) \cdot D}{t_{ii} - t_i}. \quad (11)$$

Ist das experimentell erhaltene Verhältniss $\frac{r}{n} > \frac{1}{2}$, so hat man sich statt der Gleichung (5) vielmehr der Gleichung (6) zu be-

2*

dienen und den aus $\frac{r}{n}$ sich ergebenden Werth $t_1 = \frac{h(D-S)}{\sqrt{2+2\theta+\theta^2}}$ zu setzen.

Alsdann ist $\frac{h(D-S)}{\sqrt{2+2\theta+\theta^2}} = t_1$, und nach Gleichung (7)

$$\frac{h(D+S)}{\sqrt{2+2\theta+\theta^2}} = t_{II},$$

$$\text{mithin} \quad h = \frac{(t_1 + t_{II}) \sqrt{2+2\theta+\theta^2}}{2D} \quad (12)$$

$$\text{und} \quad S = \frac{(t_{II} - t_1) \cdot D}{t_1 + t_{II}}. \quad (13)$$

In Gleichung (11) und (13) ist die Grösse $\sqrt{2+2\theta+\theta^2}$ ganz ausgefallen; das Differenzgewicht D ist bekannt; die Werthe t_I und t_{II} berechnen sich aus den bei Anwendung dieses Differenzgewichts erhaltenen Verhältnissen $\frac{r}{n}$ und $\frac{f}{n}$; mithin kann man sich in der That der Methode der r. und f. Fälle bedienen, um den zu bestimmten Versuchsumständen zugehörigen Unterschiedsschwellenwerth S , d. h. denjenigen Reizzuwuchs mit Genauigkeit zu ermitteln, der bei den gegebenen Versuchsverhältnissen die genaue Grenze der merklichen und unmerklichen Reizzuwüchse bilden würde, wenn unsere Auffassung gegebener Sinnesreize den Einflüssen zufälliger Fehlervorgänge nicht unterworfen wäre. Die Methode der r. und f. Fälle ist daher wohl geeignet, zu einer näheren Prüfung des Weber'schen Gesetzes verwandt zu werden.

§ 7.

Indessen die Methode der r. und f. Fälle setzt uns nicht bloss in den Stand, näher zu untersuchen, in welcher Weise die Grösse des Unterschiedsschwellenwerthes von der absoluten Reizstärke, von der Qualität des Reizes, von der Art der Versuchsperson, von dem Einflusse der Uebung, von der Zeit, welche zwischen den beiden zu vergleichenden Sinnesreizungen verstreicht, von der Oertlichkeit der Reizeinwirkung u. dergl. m. abhängt; sondern, wie sich aus den Gleichungen (10) und (12) ergibt, verstattet sie uns gleichzeitig, auch mit mehr oder weniger Genauigkeit zu erforschen, wie sich mit allen jenen Umständen das Maass

der Präcision verändert, mit welcher der schwächere der beiden zu vergleichenden Sinnesreize P und $P+D$ aufgefasst wird.

Vergegenwärtigen wir uns näher, was wir eigentlich unter jenem Maasse der Präcision, mit welcher das Gewicht P aufgefasst wird, zu verstehen haben. Wird das Gewicht P zu sehr oft wiederholten Malen erhoben, so wird es unserer Auffassung in jedem einzelnen Hebungsfall um einen zufälligen Beobachtungsfehler δ zu gross oder zu klein erscheinen. Nehmen wir nun von allen den zufälligen Beobachtungsfehlern, die in den zahlreichen Hebungsfällen bei Auffassung von P begangen werden, den mittleren Werth δ_m , indem wir von den verschiedenen Vorzeichen

ganz absehen, so ist das Präcisionsmaass h einfach $= \frac{1}{\delta_m \sqrt{\pi}}$

zu setzen. Das Präcisionsmaass h ist also kurz eine Grösse, welche dem mittlern Werthe δ_m der bei Auffassung von P vorkommenden zufälligen Beobachtungsfehler reciprok ist, und aus der Grösse von h können wir unmittelbar den Werth von δ_m

berechnen, indem wir $\delta_m = \frac{1}{h \sqrt{\pi}}$ setzen.*)

Von wie grossem Interesse es ist, zu erfahren, wie gross unter gegebenen Versuchsumständen der mittlere Werth der bei Auffassung einer bestimmten Reizstärke vorkommenden zufälligen Beobachtungsfehler sei, und wie sich die Grösse desselben und der Spielraum der zufälligen Beobachtungsfehler mit den verschiedenen Versuchsbedingungen ändere, bedarf keiner weiteren Ausführung. Nun enthalten allerdings die obigen Gleichungen (10) und (12) ausser der bekannten Grösse des Differenzgewichts D und den aus den Versuchsergebnissen ableitbaren Werthen t_1 und t_n auch noch die Grösse ϑ . Wir erhielten diese Grösse, indem wir das dem Gewichte $P+D$ entsprechende Präcisionsmaass h' gleich $\frac{h}{1+\vartheta}$ setzten, wo h eben das Maass der Prä-

*) Von dem mittleren Fehler δ_m ist der Werth α_m der resultirenden zufälligen Beobachtungsfehler α verschieden. Derselbe ist, wie sich leicht ableiten lässt, $= \frac{1}{2h h'} \sqrt{\frac{h^2 + h'^2}{\pi}}$ oder, falls sich der Unterschied der

Präcisionsmaasse h und h' vernachlässigen und $h' = h$ setzen lässt, $= \frac{1}{h \sqrt{2\pi}}$.

Er lässt sich mithin im letztern Falle gleichfalls aus h berechnen.

cision, mit welcher das Gewicht P aufgefasst wird, bedeutet; und es ist allerdings möglich, ja sogar Thatsache, dass sich das Präcisionsmaass mit der absoluten Reizstärke ändert, also auch h' von h verschieden angenommen werden muss. Indessen leuchtet ein, dass, wenn der Unterschied D der beiden Gewichte P und $P+D$ nur sehr klein genommen wird, der Unterschied der beiden Grössen h und h' ohne grossen Nachtheil vernachlässigt und mithin $\vartheta = 0$ gesetzt werden kann. Alsdann kann auch in Gleichung (10) und (12) der Factor $\sqrt{2+2\vartheta+\vartheta^2}$ ohne grossen Nachtheil einfach $= \sqrt{2}$ gesetzt werden und h (und mithin auch δ_m) mit Hülfe dieser Gleichungen berechnet werden. Glaubt man in dem Ausdrucke $\sqrt{2+2\vartheta+\vartheta^2}$ zwar ϑ^2 , nicht aber 2ϑ vernachlässigen zu dürfen, so gehen die Gleichungen (10) und (12) in folgende Gleichungen über:

$$h = \frac{(t_n - t_i) \sqrt{2(1+\vartheta)}}{2D}, \quad (14)$$

$$\text{bez. } h = \frac{(t_i + t_n) \sqrt{2(1+\vartheta)}}{2D}. \quad (15)$$

Aus den Resultaten der Fechner'schen Gewichtsversuche und anderweiter Versuchsreihen scheint sich zu ergeben, dass sich bei sonst unveränderten Versuchsumständen das Präcisionsmaass in ganz oder wenigstens annähernd gleicher Weise wie die absolute Unterschiedsempfindlichkeit mit der absoluten Reizstärke verändert. Hiernach müssen sich die Grössen h und h' , d. i. h und

$\frac{h}{1+\vartheta}$, und mithin auch 1 und $\frac{1}{1+\vartheta}$ wenigstens annähernd so

zu einander verhalten, wie sich die zu P und $P+D$ zugehörigen absoluten Unterschiedsempfindlichkeiten zu einander verhalten. In welchem Verhältnisse aber ungefähr diese beiden Unterschiedsempfindlichkeiten zu einander stehen, lässt sich aus dem Verhalten entnehmen, welches der Unterschiedsschwellenwerth innerhalb desjenigen Gebietes von Reizstärken, welchem die Reize P und $P+D$ angehören, zeigt. Finden wir z. B., dass innerhalb dieses Gebietes von Reizstärken das Weber'sche Gesetz merklich gültig ist, dass also die den Reizen P und $P+D$ zugehörigen absoluten Unterschiedsempfindlichkeiten sich umgekehrt wie diese Reize zu einander verhalten, so können wir annehmen, dass auch

$h:h' = h:\frac{h}{1+\vartheta} = P+D:P$, mithin $\vartheta = \frac{D}{P}$ sei. Stellt sich hin-

gegen heraus, dass die absolute Unterschiedsempfindlichkeit bei wachsender Reizstärke langsamer oder schneller abnimmt, als es dem Weber'schen Gesetze gemäss der Fall sein müsste, so wird auch das Verhältniss $\frac{h}{k}$ kleiner, bez. grösser, als das Verhältniss

$\frac{P+D}{P}$, mithin auch $\vartheta < (\text{bez. } >) \frac{D}{P}$ anzunehmen sein. Wo

man also ein Interesse daran hat, das Präcisionsmaass h mit möglichster Genauigkeit zu bestimmen, und die Grösse ϑ der Gleichungen (14) und (15) nicht glaubt vernachlässigen zu dürfen, da wird man, wie es scheint, vielleicht mit Hülfe einer Untersuchung der Abhängigkeit, in welcher die absolute Unterschiedsempfindlichkeit zur Reizstärke steht, zu einer genaueren Bestimmung von h gelangen können. In den meisten Fällen aber wird man die Grösse ϑ obiger Gleichungen ganz vernachlässigen können. Denn soll die Methode der r. und f. Fälle zu brauchbaren Resultaten führen, so müssen, wie aus den in diesem Capitel entwickelten Formeln leicht zu erkennen, neben den richtigen und zweifelhaften Urtheilsfällen auch falsche Fälle vorkommen. Um aber auch falsche Fälle zu ergeben, darf der Unterschied D der beiden Reize P und $P+D$ im Allgemeinen nur klein gegen P sein, und ist mithin auch die Differenz der diesen beiden Reizen entsprechenden Präcisionsmaasse h und k im Allgemeinen als nur geringfügig vorauszusetzen. —

§ 8.

Nur einige wenige ergänzende und rechtfertigende Bemerkungen möchten wir hier noch den vorstehenden Entwicklungen beifügen. Zunächst wollen wir nicht verhehlen, dass unseres Erachtens die in diesem Capitel entwickelten Hauptformeln der Methode der r. und f. Fälle sich zwar thatsächlich als vollkommen ausreichend erweisen werden, aber doch von rein theoretischem Standpunkte aus betrachtet uns noch nicht verstaten, aus erhaltenen Zahlen richtiger und falscher Fälle die Endresultate mit der grösstmöglichen Schärfe und Genauigkeit abzuleiten. Wir haben im Bisherigen vorausgesetzt, dass, wenn zwei Sinnesreize P und $P+D$ gegeben seien, dieselben immer dann als verschieden erkannt würden, wenn die scheinbare Grösse von P , die Grösse $P+\delta$, um einen bestimmten Werth S , den zu

P zugehörigen Unterschiedsschwellenwerth, grösser oder kleiner sei als die scheinbare Grösse des anderen Reizes, die Grösse $P + D + \delta$. Hiegegen scheint sich nun einwerfen zu lassen, es habe allerdings von vorn herein den Anschein, als sei für die Dauer einer unter bestimmten Umständen angestellten Versuchssreihe, innerhalb deren der Einfluss der Uebung u. dgl. sich nicht merklich geltend mache oder durch eine geeignete Anordnung der Versuche hinreichend eliminirt sei, entsprechend zu jeder Reizgrösse P ein constanter Unterschiedsschwellenwerth S anzunehmen. Allein da sich ja fortwährend die für unsere Vergleichung der beiden gegebenen Reize in Betracht kommenden scheinbaren Grössen von P und $P + D$ änderten, so müsse auch fortwährend die zu einer Unterscheidung beider Reize erforderliche Differenz derselben eine andere werden. Die Berechtigung dieses Einwandes lässt sich nicht ganz bestreiten; doch ist derselbe, wie man leicht erkennt, thatsächlich nur von sehr geringem Belang. Ueberdies lassen sich, wie wir bei künftiger Gelegenheit zeigen werden, an den in § 5 ff. abgeleiteten Formeln gewisse Correctionen anbringen, welche diesem Einwande vollkommen gerecht werden.

Vielleicht wird man sich wundern, dass wir im Bisherigen anscheinend gar nicht darauf Rücksicht genommen haben, dass bei dem Acte der Vergleichung zweier Empfindungen, welche zwei nach einander einwirkenden Sinnesreizen entsprechen, die eine von den beiden Empfindungen nur noch als Gedächtnissbild, wenn auch allenfalls mit der Deutlichkeit eines sogenannten Erinnerungsnachbildes (vergl. Fechner, Ps. II., S. 491 ff.), vorhanden ist. Dieser Umstand ist allerdings wohl zu berücksichtigen, vermag aber, wie künftig näher zu begründen, die Triftigkeit der Formeln, die wir zur Berechnung des Unterschiedsschwellenwerthes abgeleitet haben, auf keinen Fall zu beeinträchtigen. Wird z. B. der Sinnesreiz $P + D$ eher aufgefasst als der Reiz P , so wird sich dieser Umstand bei Vergleichung beider Sinnesindrücke im Allgemeinen so geltend machen, als wäre $P + D$ um einen bestimmten, constanten Werth p grösser oder kleiner, als es in Wirklichkeit ist; dieser constante Zeitfehler p lässt sich aber, wie wir im 4. Capitel sehen werden, bei einer geeigneten Anordnung der Versuche hinlänglich compensiren. Eine eingehendere Besprechung des Einflusses der Zeitfolge der beiden zu vergleichenden Sinnesreize, sowie eine nähere Erörterung des Ein-

flusses der Uebung, der Fractionirung der Versuchsreihen u. dgl. m. behalten wir uns für künftige Gelegenheit vor. Bei Anwendung der Methode der r. und f. Fälle wird man vor Allem dies im Auge zu behalten haben, dass jede einzelne Entscheidung nicht nach langem Zaudern, Hin- und Herwiegen der Gewichte u. dgl. m., sondern in jedem Einzelfalle sofort nach einmaliger Auffassung der beiden zu vergleichenden Reize zu fällen ist. Nur so sind die verschiedenen Urtheilsfälle einander ganz vergleichbar, und es widerspricht sogar geradezu dem Wesen der Methode der r. und f. Fälle, wenn man in anderer Weise verfährt, indem sich, wie Fechner (Ps. I, S. 94 ff.) thatsächlich gefunden zu haben scheint und sich auf theoretischem Wege leicht ableiten lässt, die Zahlen der zweifelhaften und falschen Fälle um so mehr verringern, je öfter und länger man die beiden gegebenen Reizgrössen vor jeder einzelnen endgültigen Entscheidung mit einander vergleicht.

3. Capitel.

Die bisherigen Auffassungen und Anwendungen der Methode der r. und f. Fälle.

§ 9.

Der Erste, der Versuche nach der Methode der r. und f. Fälle angestellt hat, ist F. Hegelmayer (Vierordt's Arch., Jahrg. XI, S. 844 ff.). Derselbe stellte sich die Aufgabe, den Einfluss zu ermitteln, welchen die Länge der Zeit, die zwischen den Auffassungen zweier verschiedener, horizontaler oder verticaler, Linien verfliesst, auf die Unterscheidbarkeit der beiden Linien ausübt, und zu untersuchen, ob die Unterschiedsempfindlichkeit für verticale oder horizontale Linien eine grössere sei; und bei den zu diesem Behufe angestellten Versuchen glaubt er zugleich gefunden zu haben, dass die relative Unterschiedsempfindlichkeit von der absoluten Länge der Linien unabhängig sei. Hegelmayer verglich bei jedem der verschiedenen Versuchsverhältnisse die beiden Linien nur ein bis drei Mal, meist.

nur ein Mal, mit einander, notirte die erhaltenen richtigen, falschen und zweifelhaften Fälle und suchte nun auf Grund derselben ohne irgend welche weitere Berechnung den Gang der Unterschiedsempfindlichkeit unmittelbar zu bestimmen. Im Ganzen hat Hegelmayer 257 Urtheilsfälle erhalten, die sich auf nicht weniger als 166 verschiedene Versuchsverhältnisse vertheilen. Das äusserst Unzulängliche dieser Anwendung der Methode der r. und f. Fälle leuchtet von selbst ein; es lässt sich in der That aus den Versuchsergebnissen Hegelmayer's mit Sicherheit nicht mehr schliessen, als dass die Unterscheidbarkeit zweier Linien um so geringer ist, je längere Zeit zwischen den Auffassungen beider verfliesst.

Unter Vierordt's Leitung haben Renz und Wolf*) Versuche nach der Methode der r. und f. Fälle angestellt, um die zu einer bestimmten Schallstärke zugehörige Unterschiedsempfindlichkeit zu ermitteln. Ihre Versuche bekunden insofern einen Fortschritt in Vergleich mit den Versuchen Hegelmayer's, als sie den Einfluss der Zeitfolge der beiden zu vergleichenden Schallstärken berücksichtigen. Doch ist die Zahl der von ihnen erhaltenen Urtheilsfälle gleichfalls eine zu geringe; auch denken sie ebenso wenig wie Hegelmayer daran, die erhaltenen Zahlen richtiger, falscher und zweifelhafter Fälle zur Ableitung eines triftigeren Maasses der Unterschiedsempfindlichkeit zu benutzen.

§ 10.

In unvergleichlich eingehenderer Weise als seine Vorgänger hat sich Fechner mit der Methode der r. und f. Fälle beschäftigt. Die Gewichtsversuche, die er nach dieser Methode angestellt hat, sind wohl die genauesten und sorgfältigsten aller auf das Weber'sche Gesetz bezüglichen Experimentaluntersuchungen.

Die Methode der r. und f. Fälle lässt sich nach Fechner bei Gewichtsversuchen nach folgenden zwei Verfahrungsweisen zur Anwendung bringen: erstens so, dass man sich erst nach wiederholtem, bedächtigem Hin- und Herwiegen der beiden Gewichte entscheidet, welches das schwerere oder leichtere sei,

*) Vierordt's Arch., Jahrg. XV, S. 185 ff.; Pogg. Annal., XCVIII, S. 595 ff.

und zweitens in der Weise, dass man sich unverbrüchlich nach jeder einzelnen Doppelhebung, d. i. successiven Hebung beider Gewichte, entscheidet oder bei Zweifel den Fall halb den richtigen und halb den falschen Fällen beizählt. Nach dem ersteren Verfahren hat Fechner früher Monate lang Versuche angestellt, jedoch später alle diese Versuche verworfen und sich ausschliesslich an das zweite Verfahren gehalten, das sich ihm als weit vorzüglicher herausgestellt hat. Der Vorzug des zweiten Verfahrens vor dem ersteren gründet sich darauf, dass sich dasselbe mit grösserer Gleichmässigkeit herstellen lässt als das erstere, und insbesondere darauf, dass es eine „genaue Elimination und Bestimmung“ der von der Zeit- und Raumlage des Mehrgewichts D abhängigen Miteinflüsse zu erlauben scheint. Auch liefert das zweite Verfahren in gleicher Zeit mehr Fälle als das erstere, während der Umstand, dass bei demselben bei gleichem Uebergewichte D mehr falsche Fälle vorkommen als beim ersteren Verfahren, gar nicht maassgebend ist, da ja diese Methode auf der Begehung solcher Irrthümer fusst. Bei dem ersteren Verfahren ist es nothwendig, dass die Versuchsperson von der Lage des Mehrgewichts keine Kenntniss habe und mithin ein Gehülfe zu den Versuchen hinzugezogen werde; hingegen fand Fechner dies bei der zweiten Anstellungsweise der Versuche nicht nur nicht erforderlich, sondern auch nicht einmal gut statthaft.

Die Vorrichtungen, deren sich Fechner bei seinen nach dem soeben besprochenen Verfahren angestellten Versuchen bediente, waren des Näheren folgende. Die Gefässe, in denen die zu hebenden Gewichte lagen, waren in der Weise eingerichtet, dass die beiden Gewichte P nebst dem Mehrgewichte D in denselben eine bestimmte, feste Lage hatten und sich bei den Hebungen nicht verschieben konnten. Der Handgriff der beiden Gefässe war eine, um eine horizontale Axe drehbare, hölzerne Rolle von 1 paris. Zoll Durchmesser, welche mit der ganzen Hand umfasst wurde. „Ungeachtet beide Gefässe ganz gleich construirt waren, ward doch, um einen Einfluss einer etwa unbemerkt gebliebenen Verschiedenheit zu compensiren, in jeder Versuchsreihe D eben so oft im einen als anderen Gefässe unter sonst gleichen Umständen angebracht. Die Hebungshöhe wurde durch ein, in einiger Höhe über dem Versuchstische angebrachtes horizontales Brett begrenzt, so dass sie 2 Zoll 9 Lin. paris. betrug. Die Hebungen geschahen mit unbekleidetem Arme, in blossen Hemdärmeln. Der Modus

der Hebungen war der, dass, wenn bei einer ersten Doppelhebung beispielsweise das linke Gefäss zuerst aufgehoben ward, bei der zweiten dies mit dem rechten geschah, und so fort im Wechsel.“ 32 solchergestalt im Wechsel hinter einander vollführte Doppelhebungen oder 64 einfache Hebungen, welche ebenso viele Fälle begründen*), fasste Fechner als Versuchsabtheilung zusammen, während welcher das Uebergewicht D immer in demselben Gefässe liegen blieb. „In der Mitte jeder Abtheilung, d. i. nach 32 einfachen Hebungen, ward aber jedes Mal die Stellung der Gefässe von links zu rechts gewechselt. Auf der vierfach verschiedenen Zeit- und Raumlage, welche das Mehrgewicht D hierdurch erhält (indem es entweder in dem rechts oder in dem links befindlichen Gefässe liegt und in beiden Fällen der Raumlage wiederum entweder in dem zuerst oder in dem zuzweit erhobenen Gefässe sich befindet), beruhen die unten näher zu besprechenden sog. 4 Hauptfälle der Methode, deren jeder demnach mit 16 einfachen Hebungen oder Fällen in jeder Versuchsabtheilung vertreten war. Solcher Abtheilungen von je 64 Fällen wurden unter Abänderung der zu untersuchenden Verhältnisse (P , D u. s. w.) meist 8 bis 12 an jedem Versuchstage hinter einander angestellt und bei den grösseren Versuchsreihen meist 1 Monat hindurch fortgesetzt. Die durch einen Zähler regulirte Zeit jeder Hebung eines Gefässes betrug 1 Secunde, die jeder Niedersetzung 1 Secunde, die Zwischenzeit zwischen Niedersetzen des einen und Heben des andern Gefässes auch 1 Secunde, also die Zeit jeder Doppelhebung, welche einen Vergleich oder 2 Fälle begründet, genau 5 Secunden.“ Ebenso viel Zeit (d. i. 5 Secunden), während welcher die Aufzeichnung des Resultates stattfand, verstrich zwischen einer und der je nächsten Doppelhebung. Beim einhändigen Verfahren, bei welchem beide Gefässe immer mit einer und derselben Hand gehoben wurden, geschah die Aufzeichnung stets mit der müssigen Hand, beim

*) Wie bemerkt, rechnet Fechner die zweifelhaften Fälle halb den richtigen und halb den falschen Fällen zu. Um nun hieraus hervorgehende halbe Fälle zu vermeiden, rechnet er, weil es bei Bildung des Bruches $\frac{r}{n}$ nur auf Verhältnisse ankommt, jeden richtigen Urtheilsfall als 2 richtige und jeden falschen Fall als 2 falsche Fälle und demnach jeden zweifelhaften Fall als einen richtigen und einen falschen Fall.

zweihändigen Verfahren, bei welchem das eine Gefäss mit der einen, das andere mit der anderen Hand gehoben wurde, nach den Versuchstagen wechselnd mit der einen oder anderen Hand.

§ 11.

Das Bisherige, das die Vorsichtsmaassregeln Fechner's durchaus nicht erschöpft, zeigt hinlänglich, wie sehr Fechner bedacht war, einerseits die Versuchsumstände für alle einzelnen Doppelhebungen möglichst gleichförmig zu machen, andererseits da, wo eine festgehaltene Gleichförmigkeit möglicher Weise constante Fehler der Versuchsergebnisse begründen konnte, durch Variation der Versuchsumstände eine Elimination der sich einstellenden constanten Fehler anzubahnen. Die zu eliminirenden constanten Fehler waren bei diesen Gewichtsversuchen Fechner's nur solche, welche aus der vierfach veränderlichen Zeit- und Raumlage des Mehrgewichts D entsprangen. Wir werden im nächsten Capitel näher auseinandersetzen, wie Fechner mittels der oben angeführten Anstellungs- und Anordnungsweise seiner Versuche Resultate zu gewinnen suchte, die von der Zeit- und Raumlage des Mehrgewichts gar nicht beeinflusst seien. Hier müssen wir zunächst darauf näher eingehen, wie Fechner, von den constanten Einflüssen der Zeit- und Raumlage ganz abgesehen, auf Grund der unter verschiedenen Versuchsumständen gefundenen Werthe des Verhältnisses $\frac{r}{n}$ oder vielmehr, da er die Hälfte der zweifelhaften Fälle den richtigen Fällen beizählte, auf Grund der erhaltenen Werthe der Summe $\frac{r}{n} + \frac{z}{2n}$ die den verschiedenen Versuchsverhältnissen entsprechenden Unterschiedsempfindlichkeiten bestimmte.

Fechner bemerkt mit Recht (Ps. I, S. 100), dass man an den erhaltenen Werthen des Verhältnisses $\frac{r}{n}$ kein unmittelbares Maass der Unterschiedsempfindlichkeit besitze, und dass, wenn sich unter sonst gleichen Umständen der Werth des Verhältnisses $\frac{r}{n}$ verdoppelt habe, hieraus keineswegs darauf zu schliessen sei, dass sich auch die Unterschiedsempfindlichkeit verdoppelt habe; vielmehr sei nur dann die Unterschiedsempfindlichkeit für

doppelt so gross zu halten, wenn das Mehrgewicht D , welches das gleiche Verhältniss $\frac{r}{n}$ liefere, halb so gross sei. Man könne nun daran denken, durch Tatonnement für jeden der betreffs der zugehörigen Unterschiedsempfindlichkeit zu untersuchenden Versuchsumstände dasjenige Zusatzgewicht auszumitteln, welches ein bestimmtes Verhältniss $\frac{r}{n}$ ergebe. Indessen es sei glücklicher Weise nicht nothwendig, sich dieses äusserst umständlichen und langwierigen und mit Genauigkeit kaum durchführbaren Verfahrens zu bedienen, da sich auf mathematischem Wege eine Regel finden lasse, nach welcher sich aus jedem bei einer hinreichend grossen Zahl von Versuchen erhaltenen Verhältnisse $\frac{r}{n}$, welches bei Anwendung eines bestimmten Zusatzgewichtes D gefunden sei, berechnen lasse, welches D bei ganz denselben Versuchsumständen erforderlich gewesen wäre, um ein beliebiges anderes Verhältniss $\frac{r}{n}$ zu geben. Ja, man könne sogar ohne weitere Berechnung nach mehreren leicht aufzustellenden Tabellen zu jedem Verhältnisse $\frac{r}{n}$, dem eine hinreichend grosse Anzahl von Versuchen zu Grunde liege, das Product des halben Zusatzgewichts $\frac{D}{2}$ in die Grösse der absoluten Unterschiedsempfindlichkeit finden, welche den betreffenden Versuchsumständen zugehöre.

Bei näherer Erwägung kam nämlich Fechner zu dem Resultate, dass das Maass der (absoluten) Unterschiedsempfindlichkeit durch den bereits im vorigen Capitel erörterten, gewöhnlich mit h bezeichneten Werth vertreten werden könne, der nach Gauss das Maass der Präcision der Beobachtungen bietet, insofern bei vergleichbar gehaltener Modalität des Verfahrens die Präcision nur noch von der Unterschiedsempfindlichkeit abhängt, und dass zwischen dem durch die Versuche gegebenen $\frac{r}{n}$ und dem Producte jenes Maasses h in das Zulagegewicht D , bei welchem $\frac{r}{n}$ gefunden sei, eine mathematische Beziehung stattfinde, welche

eine Ableitung von Dh aus $\frac{r}{n}$ und demnach durch Division mit D das Maass der Unterschiedsempfindlichkeit h finden lasse; und zwar sei diese Beziehung kurz die in der Gleichung $\frac{r}{n} = \frac{1 + \theta}{2}$

enthaltene, wo $\theta = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^t e^{-t^2} dt$, also der Integralausdruck sei,

durch welchen die relative Zahl oder die Wahrscheinlichkeit der Fehler in gegebenen Grenzen der Grösse bestimmt zu werden pflege, nur dass an Stelle des gewöhnlich mit Δ bezeichneten Fehlers das halbe Mehrgewicht $\frac{D}{2}$ trete und mithin die Grösse t , die sonst gleich $h\Delta$ sei, $= \frac{hD}{2}$ zu setzen sei. Die von Fechner gegebene mathematische Ableitung dieser Beziehung zwischen $\frac{r}{n}$ und θ theilen wir folgendes zum grösseren Theile wörtlich mit.

Fechner führt statt seiner eigenen eine etwas kürzere und präcisere Ableitung von Möbius an. Diese Möbius'sche Ableitung geht zunächst, statt von dem Falle der Verschiedenheit zweier Gewichte, von dem Falle der Abweichung zweier Theile einer geraden Linie von der Gleichheit aus. „Es sei allgemein

$$\frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^{h\Delta} e^{-t^2} dt$$

die Wahrscheinlichkeit, dass der bei einer Messung einer Grösse begangene Fehler innerhalb der Grenzen von $-\Delta$ und $+\Delta$ fällt, in welchem Ausdrücke h wie oben das Maass der Präcision der Messung, π die Ludolfsche Zahl ist. Seien nun beispielsweise

$A \qquad C \qquad B$

drei Punkte in einer geraden Linie; C sehr nahe, aber doch nicht ganz in der Mitte zwischen A und B gelegen. Bei n Beobachtungen nach der Methode der richtigen und falschen Fälle halte ich a mal dafür, dass C dem A näher liegt als dem B , mithin $CB > CA$; $n - a = b$ mal dafür, dass C dem B näher liegt als

dem A , mithin $CB < CA$. Hiernach verhalten sich die Wahrscheinlichkeiten für $CA < CB$ und für $CB < CA$, wie a und b , und diese zwei Wahrscheinlichkeiten selbst sind $\frac{a}{n}$ und $\frac{b}{n}$.

Sei nun in der Linie

$A \qquad \qquad CM \qquad \qquad B$

M der wirkliche Mittelpunkt von AB , und C liege von M etwas Weniges nach A zu, so ist a mal mein Urtheil ein richtiges gewesen, und b mal habe ich mich geirrt. Ich habe nämlich b mal den Punkt C zwischen M und B liegen geglaubt, habe also bei jeder dieser b Schätzungen den Punkt um mehr als die kleine Linie CM irrig, und zwar über M hinaus nach B zu angenommen, habe also jedesmal einen Fehler, $> CM$, nach einerlei Seite hin begangen. Die Wahrscheinlichkeit dafür ist

einerseits $= \frac{b}{n}$, andererseits $= \frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_{h \cdot CM}^{\infty} e^{-t^2} dt$, wo CM als eine

positive Grösse zu betrachten ist.“

Nun ist $\frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_0^{CM \cdot h} e^{-t^2} dt + \frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_{h \cdot CM}^{\infty} e^{-t^2} dt = \frac{1}{2}$, also

$$\frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_0^{CM \cdot h} \dots + \frac{b}{n} = \frac{1}{2}; \text{ mithin}$$

$$\frac{b}{n} = \frac{1}{2} - \frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_0^{CM \cdot h} \dots,$$

und da $\frac{a}{n} = 1 - \frac{b}{n}$ ist, $\frac{a}{n} = \frac{1}{2} + \frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_0^{CM \cdot h} \dots$

Um nun diese auf Theile einer geraden Linie bezogene Ableitung auf unseren Fall zweier verschiedener Gewichte zu reduciren, ist das Gewicht $P = AC$, das Gewicht $P + D = BC$, mithin $AM = \frac{AC + BC}{2} = \frac{P + P + D}{2} = P + \frac{D}{2}$ und $CM = \frac{D}{2}$ zu setzen. Ferner ist $\frac{a}{n} = \frac{r}{n}$ und $\frac{b}{n} = \frac{f}{n}$, wo f die

Zahl der falschen Fälle bedeutet. Hieraus ergibt sich für die Anwendung der Methode der r. und f. Fälle bei den Gewichtsversuchen

$$\frac{r}{n} = \frac{1}{2} + \frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_0^{\frac{hD}{2}} e^{-t^2} dt \quad \text{und} \quad \frac{f}{n} = \frac{1}{2} - \frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_0^{\frac{hD}{2}} e^{-t^2} dt,$$

oder da $\frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_0^{\frac{hD}{2}} e^{-t^2} dt = \theta$ gesetzt wird, wie oben

$$\frac{r}{n} = \frac{1+\theta}{2} \quad \text{und} \quad \frac{f}{n} = \frac{1-\theta}{2}.$$

Auf Grund dieser Gleichungen hat Fechner die zu bestimmten Werthen von $\frac{r}{n}$ zugehörigen Werthe von t oder $\frac{hD}{2}$ berechnet und in einer Tabelle, der sogenannten Fundamentaltabelle der Methode der r. und f. Fälle, nebst einigen Zusatztabellen die zu einander gehörigen Werthe von $\frac{r}{n}$ und t neben einander aufgeführt, so dass man aus diesen Tabellen entweder direct oder mit Hülfe einfacher Interpolation den einem gefundenen Verhältnisse $\frac{r}{n}$ entsprechenden Werth t entnehmen kann, aus dem sich nach Fechner mittels Division durch $\frac{D}{2}$ das Maass der bei den betreffenden Versuchsumständen vorhandenen absoluten Unterschiedsempfindlichkeit ergibt.

§ 12.

Nach den Auseinandersetzungen des vorigen Capitels können wir unsere Kritik der Fechner'schen Auffassung und Benutzung der Methode der r. und f. Fälle verhältnissmässig kurz fassen. Zunächst ist zu bemerken, dass es ganz und gar ungerechtfertigt ist, von vorn herein vorauszusetzen, das Präcisionsmaass h könne als Maass der absoluten Unterschiedsempfindlichkeit dienen. Die

Grösse h wird das Maass der Präcision genannt, weil sie der mathematischen Genauigkeit der Beobachtungen, welche dem mittleren Fehler der letzteren reciprok gesetzt wird, proportional ist. Speciell das Präcisionsmaass, welches bei dem Möbius-Fechner'schen Linienbeispiele in Betracht kommt, ist eine Grösse, welche dem mittleren Werthe der zufälligen Beobachtungsfehler δ reciprok ist, die in Folge der Mitwirkung zufälliger Fehlerursachen bei Auffassung der Lage des Punktes C begangen werden, indem C in jedem Beobachtungsfälle dem Punkte A um eine Strecke δ näher oder ferner zu liegen scheint, als es demselben wirklich liegt. Von diesem Präcisionsmaasse hängt demnach auch der mittlere Werth derjenigen Grössen, um welche sich in den verschiedenen Beobachtungsfällen der Unterschied der beiden Strecken AC und CB in unserer Auffassung grösser oder kleiner darstellt, als er wirklich ist, oder kurz der mittlere Werth derjenigen Grössen ab, um welche die scheinbare Differenz beider Strecken von der wirklichen Differenz derselben abweicht. Von der Grösse der Unterschiedsempfindlichkeit hingegen hängt es ab, wie gross die scheinbare Differenz beider Strecken sein muss, damit von uns das Urtheil gefällt werde, dass $AC <$, bez. $> CB$ sei. Es ist denkbar, dass die hierzu erforderliche Grösse der scheinbaren Differenz beider Strecken, d. i. der Unterschiedsschwellenwerth, sich ändere, ohne dass sich das Präcisionsmaass und die demselben reciproke mittlere Abweichung der scheinbaren Differenzen von der wirklichen Differenz beider Strecken ändere, und umgekehrt. Das Analoge gilt, wenn wir die Unterschiedsempfindlichkeit und das Maass der Präcision, mit welcher zwei zu vergleichende Gewichtsgrössen aufgefasst werden, in's Auge fassen. Das Präcisionsmaass wird auch hier zwar als unbedingt abhängig von dem Spielraum der zufälligen Fehlervorgänge und der davon abhängenden zufälligen Beobachtungsfehler, nicht aber auch als unbedingt abhängig von der Unterschiedsempfindlichkeit vorauszusetzen sein. Der Spielraum der zufälligen Fehlervorgänge kann sich ändern, während die Unterschiedsempfindlichkeit constant bleibt, und umgekehrt. Es ist daher keineswegs erlaubt, mit Fechner das Präcisionsmaass h schlechthin als eine der absoluten Unterschiedsempfindlichkeit proportionale Grösse zu betrachten.

Nun scheint sich allerdings, wie bereits in § 7 erwähnt, aus den Fechner'schen Gewichtsversuchen in Verbindung mit den

Ergebnissen anderweit angestellter Versuchsreihen das Resultat zu ergeben, dass bei sonst unverändert bleibenden Versuchsumständen das Präcisionsmaass sich bei Variirung der absoluten Reizstärke nach ganz demselben Gesetze ändert wie die absolute Unterschiedsempfindlichkeit. Indessen dies ist eben ein sehr auffallendes, späterhin näher zu besprechendes Resultat, welches durchaus nicht darauf hinweist, dass das Präcisionsmaass allgemein zugleich auch als Maass der Unterschiedsempfindlichkeit dienen könne und die Proportionalität beider Grössen auch noch dann fortbestehen werde, wenn man an Stelle der absoluten Reizstärke irgend einen anderen der Versuchsumstände, z. B. die Oertlichkeit der Reizeinwirkung, die zwischen den beiden zu vergleichenden Sinnesreizungen verfließende Zeit u. dergl. m., variire. Ja, es scheint sich sogar in thatsächlichem Widerspruche zur Voraussetzung einer allgemeinen Proportionalität des Präcisionsmaasses und der absoluten Unterschiedsempfindlichkeit aus Fechner's Gewichtsversuchen zu ergeben, dass für Fechner die Unterschiedsempfindlichkeit links und rechts dieselbe ist, hingegen das Präcisionsmaass rechts grösser ist als links. Es ist also ohne Zweifel das proportionale Verhalten jener beiden Grössen nicht etwas Selbstverständliches, das man von vorn herein voraussetzen hat und auf das die allgemeine Anwendbarkeit der Methode der r. und f. Fälle gegründet werden kann, vielmehr da, wo es sich als wenigstens annähernd vorhanden nachweisen lässt, ein sehr auffallendes, der Erklärung bedürftiges Verhalten.

Mit dem Irrthume Fechner's, dass das Präcisionsmaass schlechthin auch als ein Maass der Unterschiedsempfindlichkeit betrachtet werden könne, geht nun der andere Irrthum*) Hand in Hand, dass man die Unterschiedsempfindlichkeit allgemein den Reizzuwüchsen D reciprok setzen könne, welche ein und

dasselbe Verhältniss $\frac{r}{n}$ ergeben. Da man sonst allgemein die Unterschiedsempfindlichkeit der (absoluten oder relativen) Grösse des Unterschiedsschwellenwerthes S reciprok zu setzen pflegt und das Weber'sche Gesetz, nach welchem die relative Unterschiedsempfindlichkeit bei wachsender absoluter Reizstärke constant bleibt, auf die dem Werthe S reciprok gesetzte Unterschiedsempfindlichkeit sich bezieht, so können jene Reizzuwüchse D ,

*) Vergl. Fechner, Ps. I, S. 72 und 100."

welche ein gleiches $\frac{r}{n}$ ergeben, offenbar nur dann unmittelbar zum Maasse der Unterschiedsempfindlichkeiten und zur Prüfung des Weber'schen Gesetzes dienen, wenn man mit Sicherheit weiss, dass sie den betreffenden Unterschiedsschwellenwerthen genau proportional gehen. Findet diese Proportionalität nicht statt, so misst man die Unterschiedsempfindlichkeit nach zwei ganz verschiedenen Principien, wenn man sie das eine Mal dem Unterschiedsschwellenwerthe und das andere Mal demjenigen Reizzuwuchse D reciprok setzt, der erforderlich ist, um ein bestimmtes Verhältniss $\frac{r}{n}$ zu erhalten. Aus Gleichung (5) und (6) des § 6 ergibt sich, dass, vorausgesetzt, die Grössen 2θ und θ^2 seien constant oder liessen sich ohne Nachtheil vernachlässigen, derjenige Reizzuwuchs D , welcher erforderlich ist, um ein bestimmtes Verhältniss $\frac{r}{n}$ zu liefern, nur dann allgemein der absoluten Unterschiedsempfindlichkeit reciprok gesetzt werden kann, wenn das Präcisionsmaass allgemein der absoluten Unterschiedsempfindlichkeit proportional geht. Da dies Letztere, wie gesehen, keineswegs schlechthin vorausgesetzt werden darf und das Verhalten des Präcisionsmaasses uns nicht überall genau bekannt ist, so können mithin ebenso wenig wie das Präcisionsmaass auch diejenigen Reizzuwüchse, welche ein und dasselbe Verhältniss $\frac{r}{n}$ ergeben, und welche nebenbei bemerkt auf directem experimentellem Wege sich kaum mit Genauigkeit ermitteln lassen dürften, zur Messung der Unterschiedsempfindlichkeiten und zu einer allgemeinen Prüfung des Weber'schen Gesetzes dienen. Eine Ausnahme macht allein derjenige Reizzuwuchs, welcher das Verhältniss $\frac{r}{n} = \frac{1}{2}$ liefert; derselbe ist, wie aus den oben angeführten Gleichungen hervorgeht, von dem Präcisionsmaasse ganz unabhängig und — von constanten Miteinflüssen abgesehen — mit dem Unterschiedsschwellenwerthe schlechthin identisch.

§ 13.

Diejenigen Grössen, die allein nach Fechner's Ansicht mittels der Methode der r. und f. Fälle sich gewinnen lassen, können

also thatsächlich durchaus nicht ohne Bedenken zur Prüfung des Weber'schen Gesetzes und noch weniger zu einer allgemeinen Untersuchung der Abhängigkeit, in welcher die Unterschiedsempfindlichkeit zu den verschiedensten Versuchsumständen steht, benutzt werden. Fechner würde sofort erkannt haben, dass sich das einzige brauchbare Maass der Unterschiedsempfindlichkeit, der Unterschiedsschwellenwerth, aus den erhaltenen Zahlen richtiger, falscher und zweifelhafter Fälle ableiten lasse, wenn er den zweifelhaften Urtheilsfällen etwas mehr Aufmerksamkeit geschenkt hätte und nicht dieselben gleich von vorn herein gewissermassen als eine unliebsame Beigabe betrachtet und in diesem Sinne einfach halb den richtigen und halb den falschen Fällen beigezählt hätte. Wir versuchen nun im Folgenden näher zu zeigen, wie selbst dann, wenn vorausgesetzt wird, dass der Fall zweier unter dem Miteinflusse zufälliger Fehlerursachen aufgefasster und mit einander verglichener Gewichte durch das obige Möbius-Fechner'sche Linienbeispiel in triftiger Weise repräsentirt werde, die Fechner'sche Verwendung der zweifelhaften Urtheilsfälle und überhaupt Fechner's ganze Benutzung der erhaltenen Zahlen richtiger, falscher und zweifelhafter Fälle für eine unrichtige zu erklären ist.

Wir stellen also die beiden Gewichte P und $P + D$ wiederum durch die beiden Theile AC und CB einer geraden Linie AB dar, deren Mittelpunkt M ist, so dass also $AC < CB$ ist, und nehmen an, es sei die Aufgabe gestellt, in einer sehr grossen Anzahl von Beobachtungsfällen sich darüber zu entscheiden, ob $AC >$ oder $< CB$ sei.

$A \qquad \beta C \alpha M \alpha' \beta \qquad B$

Ist nun der Unterschiedsschwellenwerth S , der bei Vergleichung zweier Linien, deren Grössen um $\frac{AC + CB}{2}$, d. i. AM , herum-

schwanken, in Betracht kommt, kleiner als der Unterschied der beiden Strecken AC und CB , d. i. kleiner als $2CM$, etwa gleich der Strecke $\alpha\alpha'$, welche aus den beiden gleichen Theilen αM und $M\alpha'$ besteht, so wird offenbar der Unterschied der beiden Strecken AC und CB in allen den Fällen unmerklich und unser Urtheil ein zweifelhaftes sein, in denen uns die beiden Strecken in Folge des Miteinflusses zufälliger Fehlerursachen den Eindruck machen, als läge der Punkt C innerhalb der Strecke $\alpha\alpha'$; denn in diesen Fällen ist eben der Unterschied der beiden Strecken

unserer Auffassung nach geringer als der Unterschiedsschwellenwerth. Hingegen wird unser Urtheil ein bestimmtes und zwar ein richtiges in allen den Fällen sein, wo der Punkt C unserer Auffassung nach sich innerhalb der Strecke $A\alpha$ befindet; und ein falsches Urtheil werden wir immer dann fällen, wenn der scheinbare Ort von C innerhalb der Strecke $\alpha'B$ liegt. Nun ist, wenn wir die Zahlen der experimentell erhaltenen richtigen, falschen und zweifelhaften Fälle mit r , f und z und die Gesamtzahl der Fälle mit n bezeichnen, die Wahrscheinlichkeit dafür, dass die beiden Strecken AC und CB den Eindruck machen, als läge C zwischen α und α' , einerseits gleich

$$\frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_{Ca \cdot h}^{Ca' \cdot h} e^{-t^2} dt \text{ und andererseits gleich } \frac{z}{n} \text{ und die Wahrscheinlich-}$$

keit dafür, dass der scheinbare Ort von C zwischen α und A

$$\text{falle, einerseits gleich } \frac{1}{2} + \frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_0^{Ca \cdot h} \dots \dots \text{ und andererseits}$$

gleich $\frac{r}{n}$; desgleichen ist die Wahrscheinlichkeit dafür, dass C innerhalb der Strecke $\alpha'B$ gelegen erscheine, einerseits gleich

$$\frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_{Ca' \cdot h}^{\infty} \dots \dots \text{ und andererseits } = \frac{f}{n} \text{ zu setzen. Wir erhalten}$$

demnach für den Fall, dass der Unterschiedsschwellenwerth S kleiner als der thatsächliche Unterschied der beiden Strecken AC und CB , etwa gleich der Strecke $\alpha\alpha'$ sei, folgende 3 Gleichungen:

$$\frac{r}{n} = \frac{1}{2} + \frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_0^{Ca \cdot h} e^{-t^2} dt ,$$

$$\frac{f}{n} = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_{Ca' \cdot h}^{\infty} e^{-t^2} dt = \frac{1}{2} - \frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_0^{Ca' \cdot h} e^{-t^2} dt ,$$

$$\frac{z}{n} = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_0^{\frac{C\alpha' \cdot h}{C\alpha \cdot h}} e^{-t^2} dt .$$

Für den Fall, dass der Unterschiedsschwellenwerth grösser als der thatsächliche Unterschied der Strecken AC und CB , etwa gleich der Strecke $\beta\beta'$ sei, ergibt sich, wie leicht zu erkennen, auf ähnliche Weise

$$\frac{r}{n} = \frac{1}{2} - \frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_0^{\frac{C\beta \cdot h}{C\beta' \cdot h}} e^{-t^2} dt, \text{ und } \frac{f}{n} = \frac{1}{2} - \frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_0^{\frac{C\beta' \cdot h}{C\beta \cdot h}} e^{-t^2} dt,$$

$$\text{und } \frac{z}{n} = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_0^{\frac{C\beta \cdot h}{C\beta' \cdot h}} e^{-t^2} dt + \frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_0^{\frac{C\beta' \cdot h}{C\beta \cdot h}} e^{-t^2} dt .$$

Reduciren wir nun das Linienbeispiel auf unseren Fall zweier gehobener Gewichte, indem wir $AC = P$ und $CB = P + D$, mithin $CM = \frac{D}{2}$, ferner $\alpha M = \alpha' M = \frac{S}{2}$, bez. $\beta M = \beta' M = \frac{S}{2}$, und demgemäss $C\alpha = \frac{D-S}{2}$ und $C\alpha' = \frac{D+S}{2}$, bez. $C\beta = \frac{S-D}{2}$ und $C\beta' = \frac{D+S}{2}$ setzen, wobei wir unter S den Unterschiedsschwellenwerth verstehen, der für die Vergleichung der Gewichte P und $P + D$ in Betracht kommt, so erhalten wir für den Fall, dass $S < D$ sei, folgende 3 Gleichungen:

$$\frac{r}{n} = \frac{1}{2} + \frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_0^{\frac{(D-S) \cdot h}{2}} e^{-t^2} dt , \quad (1)$$

$$\frac{f}{n} = \frac{1}{2} - \frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_0^{\frac{(D+S) \cdot h}{2}} e^{-t^2} dt , \quad (2)$$

$$\frac{z}{n} = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_{\frac{(D-S)h}{2}}^{\frac{(D+S)h}{2}} e^{-t^2} dt. \quad (3)$$

Für den Fall, dass $\frac{r}{n} < \frac{1}{2}$ und $S > D$ sei, bleibt Gleichung (2) unverändert bestehen, während Gleichung (1) und (3) in folgende Formeln übergehen:

$$\frac{r}{n} = \frac{1}{2} - \frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_0^{\frac{(S-D)h}{2}} e^{-t^2} dt; \quad (4)$$

$$\frac{z}{n} = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_0^{\frac{(S-D)h}{2}} \dots\dots + \frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_0^{\frac{(D+S)h}{2}} \dots\dots = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_{-\frac{(S-D)h}{2}}^{+\frac{(D+S)h}{2}} e^{-t^2} dt. \quad (5)$$

Diese Gleichungen hat Fechner bei Ableitung der Werthe des Präcisionsmaasses aus den experimentell gefundenen Zahlen $\frac{r}{n}$, $\frac{f}{n}$ und $\frac{z}{n}$ nicht benutzt, sondern, wie gesehen, berechnet er h nach den Formeln:

$$\frac{r}{n} = \frac{1}{2} + \frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_0^{\frac{hD}{2}} \dots\dots \text{ und } \frac{f}{n} = \frac{1}{2} - \frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_0^{\frac{hD}{2}} \dots\dots$$

Diese Formeln Fechner's sind offenbar nur dann anwendbar, wenn in Gleichung (1) und (2) S gleich 0 ist, also unsere Unterschiedsempfindlichkeit als eine vollkommene betrachtet werden muss und es gar keine zweifelhaften Fälle giebt, oder wenn man von den zweifelhaften Fällen diejenige Anzahl w , deren Verhältniss zur Gesamtzahl n der Beobachtungsfälle durch das Integral

$$\frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_{\frac{(D-S)h}{2}}^{\frac{Dh}{2}} e^{-t^2} dt \quad \text{oder, wenn } S > D \text{ ist, durch das Integral}$$

$$\frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_{-\frac{(S-D)h}{2}}^{+\frac{Dh}{2}} \dots\dots\dots \text{ausgedrückt wird, zu den richtigen Fällen}$$

hinzurechnet und die übrigen zweifelhaften Fälle den falschen Fällen beizählt. Hiernach ist die Richtigkeit des Fechner'schen Verfahrens, die zweifelhaften Fälle halb den richtigen und halb den falschen Fällen beizuzählen und dann die Grösse h nach den Formeln:

$$\frac{r}{n} = \frac{1}{2} + \frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_0^{\frac{hD}{2}} \dots\dots \text{ und } \frac{f}{n} = \frac{1}{2} - \frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_0^{\frac{hD}{2}} \dots\dots,$$

zu berechnen, zweifelsohne davon abhängig, ob die soeben näher bestimmte Anzahl w von zweifelhaften Fällen gerade die Hälfte der gesammten zweifelhaften Fälle ausmacht oder nicht, ob also

$\frac{w}{n} = \frac{z}{2n}$ sei, d. h. ob für den Fall, dass $S < D$ ist,

$$\frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_{\frac{(D-S)h}{2}}^{\frac{Dh}{2}} \dots\dots\dots = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_{\frac{(D-S)h}{2}}^{\frac{(D+S)h}{2}} \dots\dots\dots,$$

und für den Fall, dass $S > D$ ist,

$$\frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_{-\frac{(S-D)h}{2}}^{+\frac{Dh}{2}} \dots\dots\dots = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_{-\frac{(S-D)h}{2}}^{+\frac{(D+S)h}{2}} \dots\dots\dots$$

gesetzt werden dürfe. Dies ist aber, wie der Kundige unschwer erkennt, durchaus nicht der Fall. Es ist also nicht bloss das Präcisionsmaass, das Fechner aus den erhaltenen Zahlen r , f und z abzuleiten sucht, keine Grösse, die ohne Bedenken als Maass der Unterschiedsempfindlichkeit betrachtet werden kann, sondern auch die ganze Art der Fechner'schen Ableitung der Grössen des Präcisionsmaasses aus den experimentell erhaltenen Zahlenwerthen ist eine unrichtige.

Wie man bei Voraussetzung der Triftigkeit des Möbius-Fechner'schen Linienbeispiels die durch die Versuche gegebenen Zahlen der richtigen, falschen und zweifelhaften Fälle behandeln müsste, lässt sich leicht zeigen. Man hat die zweifelhaften Fälle weder ganz noch theilweise zu den richtigen oder falschen Fällen hinzuzählen, sondern besonders zu rechnen. Aus dem Verhältnisse der richtigen Fälle zur Gesamtzahl der Fälle findet sich dann nach Gleichung (1), bez. (4), ein bestimmter Werth t_I für $\frac{(D-S)h}{2}$, bez. $\frac{(S-D)h}{2}$, und aus dem Quotienten $\frac{f}{n}$ findet sich ebenso nach Gleichung (2) ein bestimmter

Werth t_{II} für $\frac{(D+S)h}{2}$. Aus den beiden Gleichungen:

$$\frac{(D-S)h}{2} \left(\text{bez. } \frac{(S-D)h}{2} \right) = t_I ,$$

$$\frac{(D+S)h}{2} = t_{II} ,$$

$$\text{ergiebt sich } h = \frac{t_I + t_{II}}{D} , \quad (6)$$

$$\text{bez. } h = \frac{t_{II} - t_I}{D} , \quad (7)$$

$$\text{und } S = \frac{(t_{II} - t_I) D}{t_I + t_{II}} , \quad (8)$$

$$\text{bez. } S = \frac{(t_I + t_{II}) D}{t_{II} - t_I} . \quad (9)$$

§ 14.

Die Gleichungen (8) und (9) stimmen mit den Formeln (13) und (11) des vorigen Capitels vollständig überein, die wir unter der Voraussetzung abgeleitet haben, dass sowohl bei Auf-

fassung des Gewichtes P als auch bei Auffassung des Gewichtes $P+D$ gewisse zufällige Beobachtungsfehler begangen würden und sowohl für die Wahrscheinlichkeiten der im ersteren als auch für die der im zweiten Falle begangenen zufälligen Beobachtungsfehler das bekannte Gauss'sche Fehlergesetz gelte. Fechner würde also bei einer etwas eingehenderen Analyse des Sachverhaltes auf Grund des Möbius-Fechner'schen Linienbeispielen ganz dieselben Formeln zur Ermittlung des Unterschiedsschwellenwerthes erhalten haben, als wir unter der angeführten Voraussetzung abgeleitet haben. Sowohl auf Grund dieser Voraussetzung als auch auf Grund jenes Linienbeispielen

$$\text{hat man einfach } \frac{r}{n} = \frac{1}{2} + \frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_0^{t_I} e^{-t^2} dt,$$

$$\text{bez. } \frac{r}{n} = \frac{1}{2} - \frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_0^{t_I} e^{-t^2} dt$$

$$\text{und } \frac{f}{n} = \frac{1}{2} - \frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_0^{t_{II}} e^{-t^2} dt$$

zu setzen und dann aus den Werthen von t_I und t_{II} , die sich aus den experimentell erhaltenen Verhältnissen $\frac{r}{n}$ und $\frac{f}{n}$ ergeben, nach obiger Gleichung (8), bez. (9), den Unterschiedsschwellenwerth zu berechnen. Anders verhält es sich mit obigen Ausdrücken des Präcisionsmaasses, den Gleichungen (6) und (7). Dieselben stimmen mit den Gleichungen (12) und (10) des vorigen Capitels nicht vollständig überein, selbst dann nicht, wenn wir die Grössen ϑ^2 und 2ϑ ganz vernachlässigen. Hier zeigt sich eben, dass das Möbius-Fechner'sche Linienbeispiel nicht ganz triftig ist. Wir finden bei Fechner dieses Linienbeispiel einfach als zutreffend vorausgesetzt, ohne dass auch nur der Versuch gemacht wird, die Triftigkeit desselben zu erweisen. Fechner will zweifelsohne durch Zugrundelegung dieses Linienbeispielen dem Umstande Rechnung tragen, dass bei Vergleichung zweier Gewichte P und $P+D$ im Allgemeinen nicht bloss die

Auffassung des einen, sondern auch die des anderen dem Mit-einflusse zufälliger Fehlerursachen unterliegt. Diesem Umstande wird man aber offenbar dann auf die einleuchtendste Weise und ohne die geringste Willkür gerecht, wenn man annimmt, dass sowohl die zufälligen Beobachtungsfehler, welche bei Auffassung von $P+D$ begangen werden, als auch diejenigen, welche bei Auffassung von P vorkommen, in der Häufigkeit ihres Vorkommens dem bekannten, vielfach bewährten Gauss'schen Fehlergesetze entsprechen, und dann, wie wir in § 5 gethan haben, auf Grund dieser Voraussetzung das Wahrscheinlichkeitsgesetz der resultirenden Beobachtungsfehler, d. h. derjenigen Grössen ableitet, um welche sich in Folge der sowohl bei Auffassung von P als auch bei Auffassung von $P+D$ vorkommenden zufälligen Beobachtungsfehler die Differenz beider Gewichte in den verschiedenen Beobachtungsfällen grösser oder kleiner darstellt, als sie wirklich ist.

Bezeichnet man den bei Auffassung von P begangenen zufälligen Beobachtungsfehler mit δ und den bei Auffassung von $P+D$ begangenen mit δ' , so ist zweifelsohne vorauszusetzen, dass an und für sich jeder positive oder negative Werth des Fehlers δ mit jedem positiven oder negativen Werthe des Fehlers δ' zusammentreffen kann, wenn auch die Wahrscheinlichkeiten für das Zusammentreffen der verschiedenen Werthe von δ und δ' , je nach den absoluten Grössen derselben, sehr verschiedene sind. Mit dieser so einfachen und selbstverständlichen Voraussetzung, die unseren Entwicklungen des vorigen Capitels zu Grunde liegt, steht das Möbius-Fechner'sche Linienbeispiel oder vielmehr dessen Uebertragung auf den Fall zweier gehobener Gewichte nicht in Uebereinstimmung. Stellt sich bei Vergleichung der Linien AC und CB dieses Linienbeispiels in Folge der mitwirkenden zufälligen Fehlervorgänge die Linie AC um irgend eine beliebige Strecke, z. B. die Strecke $C\alpha$, grösser dar, als sie thatsächlich ist, so muss diesem Linienbeispiele gemäss die Linie CB nothwendig um genau dieselbe Strecke $C\alpha$ kleiner erscheinen, als sie wirklich ist; und erscheint AC um irgend eine Strecke, etwa die Strecke $C\beta$, zu klein, so muss nothwendig CB in unserer Auffassung sich um eben dieselbe Strecke $C\beta$ zu gross darstellen. Uebertragen wir dies auf den Fall zweier gehobener Gewichte P und $P+D$, so folgt, dass, wenn bei Auffassung des Gewichtes P ein bestimmter, positiver oder

negativer, Beobachtungsfehler δ begangen werde, alsdann bei Auffassung von $P + D$ unbedingt ein solcher Beobachtungsfehler sich einstelle, der seinem absoluten Werthe nach dem Fehler δ genau gleich, dem Vorzeichen nach aber demselben entgegengesetzt sei; eine Consequenz des Möbius-Fechner'schen Linienbeispielles, die vollkommen hinreicht, die Untriftigkeit desselben darzuthun. —

Fassen wir das über die Fechner'sche Auffassung der Methode der r. und f. Fälle Gesagte zusammen, so lässt sich also kurz sagen, erstens, dass das Linienbeispiel, das Fechner seinen mathematischen Entwicklungen zu Grunde legt, unzutreffend ist, zweitens, dass er die experimentell erhaltenen Zahlen richtiger, falscher und zweifelhafter Fälle selbst unter Voraussetzung der Triftigkeit dieses Linienbeispielles nicht sachgemäss verwendet, und drittens, dass die Grösse des Präcisionsmaasses, welche er aus jenen Zahlenwerthen abzuleiten sucht, durchaus nicht ohne Bedenken als Maass der Unterschiedsempfindlichkeit und zur Prüfung des Weber'schen Gesetzes dienen kann. Ich halte es für überflüssig, die gewaltigen Fortschritte hervorzuheben, die trotz alle dem das psychophysische Maassverfahren und die Analyse und Ausbildung der psychophysischen Maassmethoden in Folge der theoretischen und experimentellen Arbeiten Fechner's gemacht hat, und betrachte selbstverständlich alles das, was etwa meine eigenen Entwicklungen Richtiges enthalten sollten, nur für eine durch Fechner's Arbeiten angeregte, kritische Ergänzung derselben. Seit der Veröffentlichung von Fechner's einschlagenden Untersuchungen ist die Fechner'sche Auffassung der Methode der r. u. f. Fälle bisher allgemein für maassgebend gehalten worden; und Fr. Keppler hat diese Methode ganz in der Weise Fechner's zur Prüfung der Gültigkeit des Weber'schen Gesetzes im Gebiete des Geschmacksinnes verwandt. Auf die Anwendung, welche diese Methode durch Vierordt und dessen Schüler auf anderen Gebieten des psychophysischen Experimentes gefunden hat, werde ich, wie bereits in der Vorrede bemerkt, bei anderer Gelegenheit näher eingehen.*)

*) Einige sehr unbedeutende Augenmaassversuche nach der Methode der r. und f. Fälle hat auch Volkmann (a. a. O., S. 135 f.) angestellt. Eine, wie uns scheinen will, ziemlich mangelhafte Kritik dieser Methode findet sich bei Aubert, a. a. O., S. 141 f.

4. Capitel.

Die Elimination der constanten Fehler.

§ 15.

In unserer bisherigen Darlegung und Kritik der Berechnungsweise, deren sich Fechner bediente, um auf Grund der experimentell erhaltenen Werthe von $\frac{r}{n}$, $\frac{f}{n}$ und $\frac{z}{n}$ die den verschiedenen Versuchsumständen zugehörigen Unterschiedsempfindlichkeiten zu bestimmen, haben wir ganz von dem Verfahren abgesehen, das Fechner behufs Elimination gewisser constanter Miteinflüsse zur Anwendung brachte. Fechner bemerkt nämlich, dass der am Ende von § 11 von uns angegebene, einfache Gebrauch jener sogenannten Fundamentaltabelle nur unter der Voraussetzung möglich sei, dass das scheinbare Uebergewicht ausser von den zufälligen Einflüssen nur noch von dem thatsächlichen Mehrgewichte D abhängt. In Wirklichkeit hänge es aber noch von constanten Einflüssen der Zeit- und Raumlage von D ab, und der zu einem bestimmten Verhältnisse $\frac{r}{n}$ gehörige t -Werth jener Tabelle sei thatsächlich nicht bloss $= hD$, sondern $= h(D + M)$ zu setzen, wo M die algebraische Summe aller durch Gewichtsgrössen repräsentirten constanten Miteinflüsse sei, die ausser D das scheinbare Uebergewicht mit bestimmen. Es lasse sich also die Grösse h nicht mittels einfacher Division von t durch $\frac{D}{2}$ bestimmen, und es sei die Ableitung und Darlegung der zwischen $\frac{r}{n}$ und $\frac{hD}{2}$ bestehenden Beziehung eine ziemlich nutzlose, wenn es nicht möglich sei, die Versuche und deren Berechnung in irgend welcher Weise so zu combiniren, dass man zuletzt doch annähernd auf den einfachen Werth $\frac{hD}{2}$ zurückkomme, welcher bei Nichtvorhandensein jener constanten Miteinflüsse in einfacher Weise aus der Fundamentaltabelle der Methode der r . und f . Fälle zu entnehmen sein würde.

Wie früher gesehen, liess es sich Fechner bei Anstellung

und Anordnung seiner Versuche sehr angelegen sein, eine Elimination jener constanten Miteinflüsse möglichst vorzubereiten. Innerhalb jeder Versuchsabtheilung wechselte er in ganz regelmässiger Weise mit den 4 sogenannten Hauptfällen der Zeit- und Raumlage des Zusatzgewichtes D ab. Im ersten Hauptfalle lag D in dem links stehenden Gefässe, und dieses Gefäss war das zuerst erhobene; im zweiten Hauptfalle lag D ebenfalls im linksbefindlichen Gefässe, doch wurde dieses zuzweit erhoben; im dritten und vierten Hauptfalle befand sich D in dem rechts stehenden Gefässe, und letzteres wurde im dritten Hauptfalle zuerst, im vierten Hauptfalle zuzweit erhoben. Bezeichnet man die für die 4 Hauptfälle erhaltenen Zahlen der richtigen Fälle mit r_1, r_2, r_3, r_4 und die den Quotienten $\frac{r_1}{n}, \frac{r_2}{n}, \frac{r_3}{n}, \frac{r_4}{n}$ entsprechenden t -Werthe der Fundamentaltabelle der Methode der r. und f. Fälle mit t_1, t_2, t_3, t_4 , wobei für alle 4 Hauptfälle ein gleiches n vorausgesetzt ist, so besteht nach Fechner das Verfahren der Elimination jener constanten Miteinflüsse darin, dass man die aus den Quotienten $\frac{r_1}{n}, \frac{r_2}{n}, \frac{r_3}{n}, \frac{r_4}{n}$ erhaltenen t -Werthe der 4 Hauptfälle addirt und mit 4 dividirt, so dass man $\frac{hD}{2} = \frac{t_1 + t_2 + t_3 + t_4}{4}$ setzt, woraus sich mittels Division durch $\frac{D}{2}$ die Grösse h findet.

Fechner begründet dieses „Verfahren der vollständigen Compensation der constanten Miteinflüsse“ auf folgende Weise. Wie früher erwähnt, finde ein von der Zeitfolge der Hebung und ein von der Raumlage der Gefässe abhängiger Miteinfluss auf die Bestimmung des scheinbaren Uebergewichtes statt. Der von der Zeitfolge der Hebung abhängige Einfluss oder vielmehr das demselben äquivalente, vorgestellte Zusatzgewicht zu $P + D$ könne mit p , der von der Raumlage abhängige Miteinfluss mit q bezeichnet werden, und zwar so, dass bei entgegengesetzter Zeit- und Raumlage von D p und q ein entgegengesetztes Vorzeichen erhalten; welches Vorzeichen man für eine gegebene Lage verwenden wolle, sei willkürlich; nur müsse bei entgegengesetzter Lage das entgegengesetzte verwandt werden. Setze man also bei dem ersten Hauptfalle p und q mit positivem Vorzeichen an, so nehme M beim

ersten Hauptfalle den Werth $+p+q$, beim zweiten $-p+q$, beim dritten $+p-q$, beim vierten $-p-q$ an, und man erhalte demnach für die 4 Hauptfälle folgende Werthe für t :

$$t_1 = \frac{h(D+p+q)}{2}$$

$$t_2 = \frac{h(D-p+q)}{2}$$

$$t_3 = \frac{h(D+p-q)}{2}$$

$$t_4 = \frac{h(D-p-q)}{2}.$$

Die Addition dieser Gleichungen und Division durch 4 ergebe offenbar $\frac{hD}{2}$; auch reiche die Addition der ersten und vierten, sowie der zweiten und dritten dieser Gleichungen nebst Division durch 2 hin, um $\frac{hD}{2}$ finden zu lassen. Dieselben Gleichungen seien übrigens auch geeignet, durch additive und subtractive Combination die Werthe von $\frac{hp}{2}$ und $\frac{hq}{2}$ und mithin mittels Division durch $\frac{h}{2}$ auch die Werthe von p und q finden zu lassen.

Man erhalte nämlich offenbar $\frac{hp}{2} = \frac{t_1 - t_2 + t_3 - t_4}{4}$ oder auch einfacher $= \frac{t_1 - t_2}{2}$ oder $= \frac{t_3 - t_4}{2}$ und $\frac{hq}{2} = \frac{t_1 + t_2 - t_3 - t_4}{4}$ oder einfacher $= \frac{t_1 - t_3}{2} = \frac{t_2 - t_4}{2}$.

Auf Grund obiger Gleichung: $\frac{hD}{2} = \frac{t_1 + t_2 + t_3 + t_4}{4}$, oder vielmehr, da es Fechner nur auf die Verhältnisse der Werthe von h ankommt, auf Grund der Gleichung: $hD = \frac{t_1 + t_2 + t_3 + t_4}{4}$,

hat Fechner alle seine Maassbestimmungen der Unterschiedsempfindlichkeit im Felde der Gewichtsversuche gewonnen, und er glaubt so auf theoretisch vollkommen gerechtfertigtem Wege eine vollständige Elimination der Miteinflüsse der Zeit- und Raumlage von D erreicht zu haben; wozu noch zu bemerken ist, dass Fechner, um die auch bei sonst gleich bleibenden Ver-

suchsumständen eintretenden, kleinen Schwankungen und Variationen jener constanten Miteinflüsse möglichst unschädlich zu machen, bei der Berechnung von hD die Versuchsreihen nicht bloss nach den 4 Hauptfällen, sondern auch nach der Zeit und anderen Umständen in Fractionen eintheilte, so dass jedem einzelnen t -Werthe eine Fraction von 64 einfachen Hebungen oder Fällen zu Grunde gelegt wurde, und die aus solchen Fractionen gewonnenen t -Werthe zu Summen- oder Mittelwerthen combinirt wurden.

Wir untersuchen nun im Folgenden ganz im Allgemeinen und zunächst nur vom rein theoretischen Standpunkte aus, ob die Voraussetzungen, von denen Fechner bei Begründung und Anwendung dieses Eliminationsverfahrens ausgeht, ganz gerechtfertigte und richtige seien; wobei wir selbstverständlich davon ganz absehen, dass dieses Eliminationsverfahren wegen der von Fechner selbst sehr wohl erkannten, geringen Schwankungen und Variationen der constanten Miteinflüsse trotz der oben erwähnten Fractionirung der Versuchsreihen kein ganz vollkommenes, wenn auch ein thatsächlich hinreichendes, gewesen sein kann.

§ 16.

Nehmen wir an, das Zusatzgewicht D liege in dem linksbefindlichen Gefässe und dieses sei das zuerst zu erhebende Gefäss, so können wir, wenn wir zunächst von dem constanten Miteinflusse der Raumlage von D ganz absehen, dem Einflusse, den diese Zeitlage von D auf das Verhältniss der unter solchen Umständen stattfindenden richtigen und falschen Urtheilsfälle ausübt, zweifelsohne dadurch gerecht werden, dass wir den dem

erhaltenen Verhältnisse $\frac{r_1}{n}$ entsprechenden t -Werth der Fundamentaltabelle der Methode der r. und f. Fälle $t_1 = h(D + p_1)$ setzen*), wo p_1 denjenigen, positiven oder negativen, Zuwuchs

*) Bei dieser Kritik des Fechner'schen Eliminationsverfahrens sehen wir ganz davon ab, dass die Fechner'sche Berechnungsweise der zu gewissen Werthen von $\frac{r}{n}$, $\frac{f}{n}$ und $\frac{z}{n}$ zugehörigen Unterschiedsempfindlichkeit, wie im vorigen Capitel gesehen, eine unrichtige ist und mithin auch die Gleichungen $t_1 = h(D + p_1)$, $t_2 = h(D - p_2)$ u. s. w. eigentlich nicht als gültig vorausgesetzt werden dürfen.

zu D bedeutet, welcher, wenn die Zeitlage von D ohne Einfluss auf die Zahl der richtigen Fälle wäre, erforderlich sein würde, damit unter sonst gleichen Umständen dasselbe Verhältniss $\frac{r}{n}$ erhalten werde, welches thatsächlich bei dem constanten Mit-einflusse der Zeitlage von D erzielt wird. Setzen wir den entgegengesetzten Fall, dass nämlich das Zusatzgewicht D sich in dem zuzweit zu erhebenden Gefässe befinde, so ist die Zulässigkeit der Gleichung: $t_2 = h(D - p_2)$, gleichfalls unzweifelhaft, aber es ist fraglich, ob, wie Fechner schlechthin voraussetzt, $p_2 = p_1$ anzunehmen sei. Fechner selbst erklärt (Ps. II., S. 142), dass der Einfluss der Zeitlage von D sehr wohl darauf beruhen könne, dass der zuzweit eintretende Reiz das empfindende Organ durch den ersten Reiz schon verändert treffe, sofern einerseits eine gewisse Nachdauer jeder Reizwirkung, andererseits eine Abstumpfung durch jede Reizwirkung stattfinde, Einflüsse von entgegengesetzter Richtung, aus deren Conflict und resp. Ueberwiegen nach Umständen sich die proteusartige Variabilität des Zeitfehlers erkläre, die sich bei seinen Gewichts- und Tastversuchen herausgestellt habe. Nehmen wir nun Beispiels halber an, der constante Einfluss der Zeitlage von D gründe sich bei Gewichtsversuchen nach dem einhändigen Versuchsverfahren allein auf die Abstumpfung, welche das empfindende Organ durch die erstere einfache Hebung jeder Doppelhebung erfahre, so findet im ersten Hauptfalle die Hebung von $P + D$ bei einer gewissen Reizbarkeit oder absoluten Empfindlichkeit R' und die darauf folgende Hebung von P bei der in Folge der kurz vorher erfolgten Einwirkung von $P + D$ etwas geringeren Reizbarkeit $R' - d'$ statt. Im zweiten Hauptfalle aber geschieht, wenn wir die Hebung von P gleichfalls bei der Reizbarkeit oder Erregbarkeit R' erfolgen lassen, die nachfolgende Hebung von $P + D$ bei einer Erregbarkeit, welche, da die Reizbarkeit R' durch die Einwirkung von P genau genommen in etwas geringerem Maasse vermindert werden muss als durch Einwirkung von $P + D$, gleich $R' - d''$ zu setzen ist, wo $d'' < d'$ ist. Von der Verschiedenheit der Reizbarkeiten R' und $R' - d'$, R' und $R' - d''$ sind nach der obigen Voraussetzung die beiden Grössen p_1 und p_2 abhängig. Machen wir nun mit Fechner, der, um der Verschiedenheit der absoluten Empfindlichkeit durch eine Abänderung der Reizstärke gerecht zu werden, allgemein die Reizstärke

durch den der absoluten Empfindlichkeit reciproken Schwellenwerth dividirt, die Annahme, dass, wenn mehrere Reizstärken bei verschiedenen Erregbarkeiten einwirken, durch einfache Multiplication von Reizstärke und zugehöriger Reizbarkeit diejenigen Reizgrössen sich finden lassen, die bei einer constanten Erregbarkeit von der Grösse 1 dieselben Wirkungen haben würden, welche jene bei verschiedenen Erregbarkeiten einwirkenden Reize thatsächlich hervorrufen: so haben wir offenbar für den ersten Hauptfall $(P+D)R - P(R-d') = (D+p_1)R'$,

und für den zweiten Hauptfall

$$-PR + (P+D)(R-d'') = (D-p_2)R'.$$

Hieraus ergibt sich, wenn wir $R=1$ setzen, $Pd'=p_1$ und $(P+D)d''=p_2$. Es würde demnach die Voraussetzung Fechner's, dass das Aequivalent p des constanten Einflusses der Zeitlage von D im ersten und zweiten Hauptfalle an Grösse dasselbe und nur betreffs des Vorzeichens verschieden sei, nur unter der Bedingung erfüllt sein, dass $Pd'=(P+D)d''$ oder

$$\frac{d'}{d''} = -\frac{P+D}{P} \text{ sei; eine Bedingungsgleichung, deren Statt-}$$

haben allerdings nicht unmöglich ist, da sie besagt, dass die durch die Reize*) $P+D$ und P bewirkten Decremente der Reizbarkeit R' , d' und d'' , sich zu einander verhalten, wie sich die Reizstärken $P+D+P$ zu einander verhalten, deren Gültigkeit aber noch durch nichts erwiesen ist, und deren Möglichkeit Fechner durchaus nicht vor Augen gehabt hat, als er allgemein das Aequivalent p des Einflusses der Zeitlage von D für die 4 Hauptfälle als gleich gross annahm.

Nehmen wir nun Beispiels halber zweitens an, der Einfluss der Zeitlage von D beruhe allein auf dem zweiten der oben angeführten Umstände, nämlich auf einer gewissen Nachdauer der Reizwirkung. Nach dieser Annahme ist im ersten Hauptfalle bei Einwirkung des zweiten Reizes P eine Nachwirkung des ersteren Reizes $P+D$ vorhanden, die sich als eine Function von $P+D$ [= $F(P+D)$] und als ein Zuwuchs zum Reize P betrachten lässt. Das Entsprechende gilt von der Nachwirkung des Reizes P im zweiten Hauptfalle. Wir haben also kurz für

*) Wir bezeichnen Kürze halber die Gewichte P und $P+D$ als Reize, was betreffs des Drucksinnes im eigentlichen, betreffs des Muskelsinnes aber nur im weiteren Sinne erlaubt ist.

den ersten Hauptfall

$$(P + D) - [P + F(P + D)] = D + p_1,$$

und für den zweiten Hauptfall

$$-P + [P + D + F(P)] = D - p_2.$$

Hiernach würde $p_1 = -F(P + D)$ und $p_2 = -F(P)$ und mithin p_1 nur unter der Bedingung $= p_2$ sein, dass $F(P + D) = F(P)$ sei, was durchaus nicht vorauszusetzen und zweifelsohne um so weniger der Fall ist, je grösser das Zusatzgewicht D ist.

Auch betreffs des Einflusses der Raumlage von D lässt sich in ganz ähnlicher Weise leicht darthun, dass das Aequivalent desselben für die beiden ersten Hauptfälle nicht nothwendig gerade so gross sein muss wie für die beiden letzten Hauptfälle, dass also q_1 und q_2 nicht nothwendig genau $= q_3 = q_4$ sein muss. Ja, es lässt sich sogar zeigen, dass die Aequivalente der constanten Einflüsse der Zeit- und Raumlage von D nicht bloss da, wo sie mit entgegengesetzten Vorzeichen zu D hinzutreten, sondern auch da, wo die Zeit- oder Raumlage von D das scheinbare Uebergewicht in derselben, positiven oder negativen, Richtung mit bestimmt, nicht unbedingt als gleich gross vorauszusetzen sind. Wir sehen jedoch davon ab, dies näher darzuthun, da die Unterschiede von p_1 und p_3 , p_2 und p_4 , q_1 und q_2 , q_3 und q_4 vollends nur sehr unbedeutende sein dürften und, wie leicht zu erkennen, die Zulänglichkeit des Fechner'schen Eliminationsverfahrens nicht weiter beeinträchtigen.

§ 17.

Wir sind weit davon entfernt, die Tauglichkeit des von Fechner angewandten, combinatorischen Verfahrens der Elimination der constanten Zeit- und Raumfehler in Abrede stellen zu wollen; sondern wir glaubten nur darauf aufmerksam machen zu müssen, dass dieses Verfahren nicht diejenige Vollkommenheit besitzt, die man nach den Auslassungen Fechner's vorauszusetzen geneigt sein könnte. Es ist immer gut, wenn man sich der Zulänglichkeit der Methode, deren man sich bedienen will, und der Genauigkeit, die man bei den mittels derselben erhaltenen Resultaten voraussetzen darf, genau bewusst ist. Will man die Tauglichkeit der Methode der r. und f. Fälle auf experimentellem Wege näher prüfen, so wird man unseres Erachtens auch eingehender zu untersuchen haben, inwieweit sich

die theoretisch denkbaren und sogar sehr wahrscheinlichen Unterschiede der constanten Miteinflüsse in den 4 Hauptfällen thatsächlich merklich machen, und wie sich dieselben, etwa durch Wahl eines sehr kleinen D u. dergl. m., möglichst verringern lassen.

Zweifelsohne verdient das erörterte Eliminationsverfahren den Vorzug vor dem Verfahren, welches Fechner als das der unvollständigen Compensation der constanten Miteinflüsse bezeichnet, und welches, wenn man die Fechner'sche Benutzungsweise der Methode der r. und f. Fälle als die richtige betrachtet, darin besteht, dass man die Zahlen r_1, r_2, r_3, r_4 der in den 4 Hauptfällen erhaltenen richtigen Fälle vor der Berechnung der t -Werthe zusammennimmt und aus dem so erhaltenen Verhältnisse $\frac{r}{n}$ ein gemeinsames t ableitet, das man

$= hD$ setzt. Wir wüssten überhaupt nicht, durch welches Verfahren sich bei Gewichtsversuchen dieser Art die constanten Miteinflüsse der Zeit- und Raumlage von D mit grösserer Annäherung eliminiren liessen als nach dem von Fechner angegebenen Principe. Dieses Princip wird man daher auch zur Anwendung zu bringen haben, wenn man die Methode der r. und f. Fälle in der von uns im zweiten Capitel dargelegten Weise verwenden will. Bezeichnen wir mit $t_{I1}, t_{I2}, t_{I3}, t_{I4}$ die t -Werthe, die nach Gleichnung (5), bez. (6), des § 6 sich aus den

Verhältnissen $\frac{r_1}{n}, \frac{r_2}{n}, \frac{r_3}{n}, \frac{r_4}{n}$ ableiten lassen und mit $t_{II1},$

$t_{II2}, t_{II3}, t_{II4}$ die t -Werthe, die nach Gleichung (7) des § 6 aus

den Verhältnissen $\frac{f_1}{n}, \frac{f_2}{n}, \frac{f_3}{n}, \frac{f_4}{n}$ sich ergeben, wo $r_1, r_2,$

r_3, r_4 , bez. f_1, f_2, f_3, f_4 , die Zahlen der in den 4 Hauptfällen erhaltenen richtigen, bez. falschen, Fälle ohne irgend welche hinzugerechnete zweifelhafte Fälle sind, so ist, wenn wir davon absehen, dass p und q in den verschiedenen Hauptfällen nicht nothwendig genau dieselbe Grösse zu besitzen brauchen, für den

Fall, dass $\frac{r_1}{n}, \frac{r_2}{n}, \frac{r_3}{n}, \frac{r_4}{n} > \frac{1}{2}$ ist,

$$t_{I1} = \frac{(D + p + q - S) h}{\sqrt{2 + 2\vartheta + \vartheta^2}}, \quad t_{II1} = \frac{(D + p + q + S) h}{\sqrt{2 + 2\vartheta + \vartheta^2}},$$

$$t_{I2} = \frac{(D - p + q - S) h}{\sqrt{\dots\dots\dots}}, \quad t_{II2} = \frac{(D - p + q + S) h}{\sqrt{\dots\dots\dots}},$$

$$t_{I_8} = \frac{(D+p-q-S)h}{\sqrt{\dots\dots\dots}}, \quad t_{II_8} = \frac{(D+p-q+S)h}{\sqrt{\dots\dots\dots}},$$

$$t_{I_4} = \frac{(D-p-q-S)h}{\sqrt{\dots\dots\dots}}, \quad t_{II_4} = \frac{(D-p-q+S)h}{\sqrt{\dots\dots\dots}}.$$

Hieraus folgt

$$h = \frac{(t_{I_1}+t_{I_2}+t_{I_8}+t_{I_4}+t_{II_1}+t_{II_2}+t_{II_8}+t_{II_4})\sqrt{2+29+9^2}}{8D}, \quad (1)$$

$$\text{und } S = \frac{(t_{II_1}+t_{II_2}+t_{II_8}+t_{II_4}-t_{I_1}-t_{I_2}-t_{I_8}-t_{I_4})D}{t_{I_1}+t_{I_2}+t_{I_8}+t_{I_4}+t_{II_1}+t_{II_2}+t_{II_8}+t_{II_4}}. \quad (2)$$

Für den Fall, dass eines der Verhältnisse $\frac{r_1}{n}$, $\frac{r_2}{n}$, $\frac{r_3}{n}$

und $\frac{r_4}{n}$ kleiner als $\frac{1}{2}$ ist, muss, wie leicht zu erkennen, nach Gleichung (5) des § 6 der entsprechende t -Werth t_{I_1} , t_{I_2} u. s. w. gleich $-\frac{(D+p+q-S)h}{\sqrt{\dots\dots\dots}}$, bez. gleich $-\frac{(D-p+q-S)h}{\sqrt{\dots\dots\dots}}$

u. s. w. gesetzt, mithin in vorstehende 2 Gleichungen mit negativem Vorzeichen eingeführt werden. Wirken die constanten Einflüsse der Raum- und Zeitlage dem thatsächlichen Uebergewichte D in dem Maasse entgegen, dass eines der Verhältnisse $\frac{f_1}{n}$,

$\frac{f_2}{n}$, $\frac{f_3}{n}$, $\frac{f_4}{n}$ grösser als $\frac{1}{2}$ ausfällt, so muss, wie gleichfalls leicht abzuleiten, der entsprechende Werth von t_{II} nach der

$$\text{Gleichung: } \frac{f}{n} = \frac{1}{2} + \frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_0^{t_{II}} e^{-t^2} dt, \text{ berechnet und mit nega-}$$

tivem Vorzeichen in obigen Gleichungen (1) und (2) eingesetzt werden. Stellt sich endlich in einem der 4 Hauptfälle das Verhältniss $\frac{r}{n}$ oder $\frac{f}{n}$ gerade $= \frac{1}{2}$ heraus, so ist der entsprechende

Werth von t_I oder t_{II} einfach $= 0$ zu setzen. Ist also z. B. $\frac{r_1}{n}$

und $\frac{r_3}{n}$, sowie $\frac{f_2}{n} > \frac{1}{2}$, hingegen $\frac{r_4}{n} = \frac{1}{2}$ und $\frac{r_2}{n}$, $\frac{f_1}{n}$,

$\frac{f_3}{n}$, $\frac{f_4}{n} < \frac{1}{2}$, so erhält man nach obiger Gleichung (2)

$$S = \frac{(t_{II_1} - t_{II_2} + t_{II_3} + t_{II_4} - t_{I_1} + t_{I_2} - t_{I_3}) D}{t_{I_1} - t_{I_2} + t_{I_3} + t_{II_1} - t_{II_2} + t_{II_3} + t_{II_4}}.$$

Es sind also die obigen Gleichungen (1) und (2) — von den in § 8 angedeuteten, unwesentlichen Correctionen abgesehen — die letzten, unmittelbar zu verwendenden Formeln der Methode der r. und f. Fälle. Bei ihrer Benutzung hat man jedoch die Grössen der in den verschiedenen Hauptfällen erhaltenen Verhältnisse $\frac{r}{n}$ und $\frac{f}{n}$ genau in's Auge zu fassen und in jedem Falle, wo $\frac{r}{n} < \frac{1}{2}$ oder $\frac{f}{n} > \frac{1}{2}$ ist, den entsprechenden, in gehöriger Weise abgeleiteten Werth von t_I , bez. t_{II} , mit negativem Vorzeichen in obige Gleichungen einzuführen, falls aber $\frac{r}{n}$ oder $\frac{f}{n} = \frac{1}{2}$ sich herausstellt, den zugehörigen Werth von t_I oder t_{II} gleich 0 zu setzen.

Ausser dem Unterschiedsschwellenwerthe und dem Präcisionsmaasse kann man übrigens auch die Grössen p und q , die Aequivalente der constanten Einflüsse der Raum- und Zeitlage von D , mit mehr oder weniger Annäherung ermitteln und sich darüber Aufschluss verschaffen, in welcher Weise sich diese Grössen mit den verschiedenen Versuchsumständen ändern. Nach

$$\text{Obigem ist offenbar } hp = \frac{(t_{I_1} - t_{I_2})\sqrt{2+2g+g^2}}{2} = \frac{(t_{II_1} - t_{II_2})\sqrt{\dots}}{2} \\ = \frac{(t_{I_3} - t_{I_4})\sqrt{\dots}}{2} = \frac{(t_{II_3} - t_{II_4})\sqrt{\dots}}{2}; \text{ ebenso lässt sich auf}$$

4 verschiedene Weisen ein bestimmter Werth für hq gewinnen. Aus jedem der erhaltenen 4 Werthe von hp und von hq lässt sich, indem man h nach Gleichung (1) bestimmt, ein einfacher Werth von p und q , in dem die Wurzelgrösse $\sqrt{2+2g+g^2}$ ausgefallen ist, ermitteln, und man kann das Maass der Uebereinstimmung der für p und der für q gewonnenen 4 Werthe als ein Maass der Genauigkeit und Zulänglichkeit der angestellten Versuche betrachten.

5. Capitel.

Die Methode der kleinsten Unterschiede.

§ 18.

Die Versuche nach der Methode der eben merklichen Unterschiede sind im Grunde nach drei verschiedenen, bisher nicht recht aus einander gehaltenen Verfahrensweisen angestellt worden, von denen jedoch nur eine den Namen dieser Methode wirklich verdient. Die Versuche der ersten Art, zu denen z. B. Masson's Scheibenversuche und Fechner's Versuche mit verdunkelnden Gläsern und mit Temperaturreizen gehören dürften, waren thatsächlich solche, bei denen der Beobachter sich einen gewissen, sehr geringen, aber doch übermerklichen Empfindungsunterschied einprägte und bei den verschiedenen Versuchsumständen (absoluten Reizstärken) sich wieder zu vergewärtigen und mittels Abänderung der einen Unterschiedscomponente wiederherzustellen suchte oder auch schlechthin gewisse successiv gegebene, sehr geringe, aber thatsächlich doch übermerkliche Unterschiede betreffs ihrer Deutlichkeit mit einander verglich. Diese Versuche waren thatsächlich Versuche nach der Methode der übermerklichen Unterschiede von sehr geringer Genauigkeit, die, von der zeitlichen Trennung der zu vergleichenden Unterschiede und Anderem ganz abgesehen, auch den Nachtheil hatten, dass etwaige zufällige Beobachtungsfehler, die bei Auffassung der mit einander zu vergleichenden Sinnesindrücke begangen wurden, sich weit mehr geltend machen mussten, als sie in Betracht zu ziehen waren, wenn man sich übermerklicher Unterschiede von sehr beträchtlicher Deutlichkeit, gegen deren Grössen jene Beobachtungsfehler nur klein sind, bedient hätte.

§ 19.

Die Versuche der zweiten Art sind thatsächlich Versuche, die in mangelhafter Weise nach dem Principe der Methode der r. und f. Fälle angestellt worden sind. Zu ihnen gehören insbesondere die von Volkmann angestellten Versuche mit Schall-

stärken, welche von besonderer Wichtigkeit deswegen sind, weil die Behauptung der Gültigkeit des Weber'schen Gesetzes im Gebiete des Gehörsinnes sich allein auf diese Versuche Volkmann's stützt. Dass diese Versuche Volkmann's und gewisse Augenmaassversuche Fechner's in Wahrheit Versuche waren, die in unvollkommener Weise nach dem Principe der Methode der r. und f. Fälle angestellt wurden, erhellt aus den Mittheilungen Fechner's über diese Versuchsreihen. Nachdem Fechner den einfachen, im Wesentlichen aus einem pendulirenden, gegen eine viereckige Glasflasche anschlagenden Hammer bestehenden Apparat beschrieben hat, mittels dessen Volkmann seine improvisirten, im Beisein von Fechner ausgeführten Vorversuche mit Schallstärken anstellte, fährt er (Ps. I, S. 177) folgendermassen fort: „Nun wurden zwei Elevationen des Hammers aufgesucht, welche hinreichend unterschiedene Schalle gaben, dass ein unmittelbar beim Apparate stehender Beobachter sich nicht täuschte, wenn er, ohne die Elevationen zu kennen, rieth, welcher Schall der stärkere sei; aber wenig genug unterschieden, dass, wenn man den Unterschied etwa auf die Hälfte reducirte, das Urtheil unsicher ward und theils richtige, theils falsche Fälle gab. Darauf entfernte sich der Beobachter successiv auf 6, 12, 18 Schritte, so dass der anfängliche Abstand desselben vom Apparate mindestens verzweifelt wurde. Bei jedem dieser Abstände wurde derselbe Versuch mit jenen zwei Elevationen mehrmals wiederholt, welche dem Beobachter in der Nähe einen zwar noch bestimmt erkennbaren, aber nur sehr schwachen Unterschied dargeboten hatten. Da bei zwölfacher Entfernung des Beobachters die physische Schallstärke auf $\frac{1}{144}$ herabgekommen ist, so hätte der in der Nähe nicht viel über das eben Merkliche hinausgehende Unterschied verschwinden müssen, wenn er überhaupt von der absoluten Stärke des Schalles abhinge. Aber bei allen drei Entfernungen des Beobachters blieb das Urtheil desselben ebenso sicher und richtig als in grösster Nähe.“ Betreffs der späteren, genaueren und mit einem sorgfältiger construirten Apparate ausgeführten Versuche Volkmann's äussert sich Fechner (Ps. I, S. 178) folgendermassen: „Im Uebrigen war die Anstellungsweise und der Erfolg der Versuche mit dem vorigen übereinstimmend. Bei den verschiedensten absoluten Schallstärken nämlich erschien das Verhältniss der Fallhöhen 3:4, welchem nach unten folgender Herleitung ein gleiches Verhält-

niss der Schallstärken entspricht, eben hinreichend, eine sichere Unterscheidung für zwei Beobachter mit guter Unterscheidungs-gabe zu bewirken, was mit dem von Renz und Wolf erhaltenen Resultate wohl übereinkommt.“ Auch führt Fechner (ebenda-selbst) betreffs dieser Schallversuche aus Volkmann's Beobach-tungsjournale unter Anderem Folgendes an: „Zahlreiche Ver-suche innerhalb der Breite dieser Schalldifferenzen zeigten, dass Heidenhain und ich im Stande sind, mit Sicherheit Schallstärken zu unterscheiden, die sich zu einander wie 3:4 verhalten. Wenn der Unterschied verringert wird bis zum Verhältnisse 6:7, so kommen bereits einzelne Fehler und noch öfter Unentschieden-heiten im Urtheile vor. Fechner dagegen irrte schon bei dem Verhältnisse 3:4 sehr häufig. Offenbar hatte aber bei ihm Uebung Einfluss auf Steigerung des Unterscheidungsvermögens, denn am Ende einer sehr langen Beobachtungsreihe unterschied er Schallstärken im Verhältnisse von 3:4 jedesmal richtig, während er anfangs häufiger irrte als richtig hörte und nach längeren Versuchen immer noch $\frac{1}{3}$ falsche Angaben bei $\frac{2}{3}$ rechten machte.“ Aehnliches berichtet Fechner (Ps. I, S. 233 f.) von seinen eigenen, angeblich nach der Methode der eben merk-lichen Unterschiede angestellten Augenmaassversuchen.

Das Ziel, welches Fechner und Volkmann bei jenen Ver-suchsreihen im Gebiete des Augenmaasses und Gehörsinnes ver-folgteten, war also offenbar dieses, bei verschiedenen Versuchs-umständen, speciell bei Anwendung verschiedener absoluter Reiz-stärken, die Grösse desjenigen kleinen Reizunterschiedes fest-zustellen, der eben noch jedes Mal wahrnehmbar ist, wo die beiden Unterschiedscomponenten beobachtet werden. Dass dieser eben noch immer erkennbare Unterschied von dem Unterschieds-schwellenwerthe S , dem wirklichen eben merklichen Unterschiede, verschieden und nicht unbeträchtlich grösser als dieser sein muss, leuchtet ein. Denn der Unterschiedsschwellenwerth S ist, wie aus den Formeln (5) und (6) des § 6 hervorgeht, dem-jenigen Reizzuwuchse gleich, der, wenn constante Einflüsse der Zeit- oder Raumlage nicht vorhanden sind, gerade in der Hälfte einer grossen Anzahl von Beobachtungsfällen richtig erkannt wird, während in der anderen Hälfte der Fälle das Urtheil über die beiden Unterschiedscomponenten entweder ein zweifelhaftes oder ein falsches ist. Hingegen ist jener eben noch immer merkbare Unterschied der Volkmann'schen Schallversuche offen-

bar mit demjenigen Reizunterschiede identisch, der bei Anwendung der Methode der r. und f. Fälle das Verhältniss $\frac{r}{n} = 1$ ergibt. Nun ist, da nach dem Früheren die Gleichung:

$$\frac{r}{n} = \frac{1}{2} + \frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_0^{\frac{(D-S)h}{\sqrt{2+2\vartheta+\vartheta^2}}} e^{-t^2} dt \quad \text{besteht, wo } D \text{ der Unterschied}$$

der beiden verglichenen Reize ist, streng genommen ein unendlich grosser Werth von $\frac{h(D-S)}{\sqrt{2+2\vartheta+\vartheta^2}}$ nothwendig, um $\frac{r}{n}$ genau = 1 zu ergeben. Indessen ist hierbei eine unendlich grosse Anzahl von Beobachtungsfällen vorausgesetzt; für eine endliche Anzahl von Fällen wird im Allgemeinen bereits ein äusserst nahe an 1 angrenzender Werth von $\frac{r}{n}$ und ein diesem

Werthe von $\frac{r}{n}$ entsprechender, endlicher Werth C von

$\frac{h(D-S)}{\sqrt{2+2\vartheta+\vartheta^2}}$ genügen, um immer nur richtige Fälle zu ergeben. Es lassen sich demnach die Volkmann'schen Versuche mit Schallstärken und jene weniger in Betracht kommenden Augenmaassversuche Fechner's nur unter der Voraussetzung für die Gültigkeit des Weber'schen Gesetzes anführen, dass derjenige (zu einem Hauptreize P hinzukommende) Reizzuwuchs D , der $\frac{h(D-S)}{\sqrt{2+2\vartheta+\vartheta^2}} = C$ und demgemäss ein für eine endliche Anzahl von Fällen mit 1 identisches Verhältniss $\frac{r}{n}$ ergibt, als eine dem Unterschiedsschwellenwerthe S

proportionale Grösse zu betrachten ist. Ist nun $\frac{h(D-S)}{\sqrt{2+2\vartheta+\vartheta^2}} = C$, wo h das (zum Hauptreize P zugehörige) Präcisionsmaass bedeutet, so ist $D = \frac{C\sqrt{2+2\vartheta+\vartheta^2}}{h} + S$. Offenbar wird daher der Reizzuwuchs D nur dann ganz unbedenklich als eine allgemein dem Unterschiedsschwellenwerthe S proportionale

Grösse betrachtet werden dürfen, wenn das Präcisionsmaass h eine dem Unterschiedsschwellenwerthe S reciproke und der absoluten Unterschiedsempfindlichkeit proportionale Grösse ist und die Wurzelgrösse $\sqrt{2 + 29 + 9^2}$ als constant angesehen werden kann. Die Proportionalität des Präcisionsmaasses und der absoluten Unterschiedsempfindlichkeit ist zur Zeit wenigstens für das Gebiet des Gehörsinnes keineswegs erwiesen. Und was jene Wurzelgrösse betrifft, so ist dieselbe höchstens dann als constant vorauszusetzen, wenn der Unterschied der beiden eben immer merkbaren Reizstärken nur sehr klein gegen die eine beider Reizintensitäten ist. Dies ist aber durchaus nicht allgemein der Fall, da ja der eben immer erkennbare Reizunterschied gerade derjenige Unterschied ist, welcher so gross ist, dass bei einer endlichen Zahl von Beobachtungsfällen gar keine falschen oder zweifelhaften Fälle vorkommen; bei Volkmann's Schallversuchen betrug nach Obigem der relative Werth des eben immer merklichen Reizzuwuchses sogar nicht weniger als $\frac{1}{8}$. Man ist also nicht berechtigt, denjenigen Reizunterschied, der eben hinreicht, um lauter richtige Urtheilsfälle zu ergeben, schlechthin als eine der absoluten Unterschiedsempfindlichkeit reciproke Grösse zu betrachten, und es lässt sich daher auch, wenigstens zur Zeit, aus dem Verhalten, das dieser Reizunterschied bei Anwendung verschiedener absoluter Reizstärken zeigt, nichts ganz Sicheres betreffs der Gültigkeit des Weber'schen Gesetzes erschliessen. Aber auch, von dem bisher geltend Gemachten ganz abgesehen, ist die Methode, welche bei den Schallversuchen Volkmann's zur Anwendung kam, als eine sehr mangelhafte und unsichere zu bezeichnen. Bei Benutzung dieser Methode, bei welcher man den Umstand, dass ein gegebener Reizzuwuchs bei einer gewissen Anzahl von Beobachtungsfällen jedes Mal richtig erkannt wird, als Kennzeichen einer bestimmten Merklichkeit desselben betrachtet, läuft man nothwendig Gefahr, Reizzuwüchse geringerer Merklichkeit, welche eben hinreichen, um lauter richtige Fälle zu ergeben, oder welche sogar bei längerer Fortsetzung der Beobachtungen doch noch einige zweifelhafte oder gar falsche Fälle ergeben haben würden, mit Zuwüchsen von grösserer Merklichkeit, welche ja doch mehr als lauter richtige Fälle nicht ergeben können, in eine Linie zu stellen. Nur durch das äusserst umständliche Verfahren, dass man jedes Mal bei bestimmten gegebenen Versuchsumständen zunächst einen anscheinend nie-

mals verkennbaren Reizzuwuchs darauf hin untersucht, ob er in einer grossen Anzahl von Beobachtungsfällen jedes Mal richtig erkannt werde, und dann die Grösse dieses Reizzuwuchses ganz allmählich so lange verringert, bis man den Werth desjenigen Reizunterschiedes erreicht hat, der den erhaltenen Versuchsergebnissen nach bei der allergeringsten Verminderung nicht mehr lauter richtige Urtheilsfälle ergiebt, nur durch dieses kaum durchführbare Verfahren würde man im Stande sein, den eben immer erkennbaren Reizunterschied mit Genauigkeit zu bestimmen; und dann würde man, wie gesehen, aus dem Verhalten, das dieser Reizunterschied bei verschiedenen Versuchsumständen zeigt, zur Zeit doch nichts ganz Sicheres betreffs der Unterschiedsempfindlichkeit schliessen können.

§ 20.

Es ist auffallend, dass selbst Fechner (Ps. I, S. 75) gewissen Auslassungen nach die Methode der eben merklichen Unterschiede ganz mit der bei Volkmann's Versuchen zur Anwendung gekommenen Versuchsweise identificirt. Denn als die Methode, welche allein den Namen der Methode der eben merklichen, bez. eben unmerklichen, Unterschiede verdient, muss zweifelsohne diejenige betrachtet werden, bei deren Anwendung man einen untermerklichen Reizunterschied allmählich so lange vergrössert, bis er eben merklich wird, bez. einen übermerklichen Unterschied so lange verringert, bis er eben unmerkbar wird. Betreffs dieser Methode ist vor Allem Folgendes wohl zu beachten. Stellt man in der Weise Versuche an, dass man einen untermerklichen Reizzuwuchs allmählich so lange verstärkt, bis er eben merklich erscheint, und hierbei jedes Mal die beiden Unterschiedscomponenten zu oft wiederholten Malen mit einander vergleicht, ehe man sich entscheidet, ob der gegebene Unterschied bereits wirklich merkbar sei oder nicht, so beruht auch dieses Verfahren ähnlich wie das im vorstehenden Paragraphen besprochene im Grunde auf einer sehr unvollkommenen Anwendung der Methode der r. und f. Fälle; denn bei Benutzung desselben ist offenbar das Resultat der verschiedenen Fälle der Vergleichung der beiden gegebenen Unterschiedscomponenten für das Endurtheil über die Merkbarkeit, bez. Unmerkbarkeit, des dargebotenen Reizunterschiedes maassgebend. Wird der Unterschied nur dann für eben

merklich erklärt, wenn er in allen jenen Vergleichungsfällen richtig erkannt wird, so unterliegt dieses Verfahren offenbar ganz denselben Einwänden wie das im vorigen Paragraph erörterte Verfahren und ist im Wesentlichen durch nichts von demselben verschieden. Hängt der Umstand, ob der gegebene Reizunterschied für gerade merklich erklärt werde, davon ab, dass der letztere in einer gewissen Mehrzahl der Vergleichungsfälle richtig erkannt werde, hängt also das Endurtheil über die Merklichkeit des gegebenen Unterschiedes von den relativen Zahlen der richtigen, falschen und zweifelhaften Fälle ab, so handelt es sich offenbar um eine Anwendung der Methode der r. und f. Fälle, bei welcher erstens die Gesamtzahl der Fälle nur eine sehr geringe ist, zweitens die erhaltenen richtigen, falschen und zweifelhaften Fälle nicht wirklich gezählt, sondern nur innerlich irgendwie abgeschätzt werden und dieselben drittens nicht in geeigneter Weise zur Ableitung des Unterschiedsschwellenwerthes benutzt werden, sondern auf irgend welche, unbekannte Weise (allenfalls noch in Verbindung mit den Graden der Merklichkeit, welche der gegebene Reizunterschied in Folge der mitwirkenden zufälligen Fehlerursachen in den verschiedenen, richtig oder falsch ausfallenden, Vergleichungsfällen erreicht) dem Endurtheile über die Unmerklichkeit, bez. Ebenmerklichkeit, der dargebotenen Reizdifferenz als Anhalt dienen. Ebenso wie es sich bei Fechner's nach der Methode der r. und f. Fälle angestellten Gewichtsversuchen als das tauglichere Verfahren herausstellte, sofort nach jeder Doppelhebung sich darüber zu unterscheiden, *ent* welches, bez. ob eines, von beiden Gewichten schwerer als das andere erscheine, so ist es also auch auf keinen Fall räthlich, bei Anwendung der Methode der eben merklichen Unterschiede den Werth des eben merklichen Unterschiedes in der Weise bestimmen zu wollen, dass man sich jedes Mal erst nach langem und wiederholtem Vergleichen der beiden Unterschiedscomponenten betreffs der Merklichkeit, bez. Unmerklichkeit, des gegebenen Reizunterschiedes entscheidet. Denn von dem auf solche Weise gewonnenen Werthe des eben merklichen Reizunterschiedes lässt sich gar nicht mit Sicherheit sagen, in welchem Verhältnisse er zu dem Unterschiedsschwellenwerthe steht, bez. dass er demselben proportional geht, und es ist bei Anwendung dieses Verfahrens kaum möglich, die Versuche so anzustellen, dass die unter verschiedenen Versuchsumständen erhaltenen Bestimmungen

des eben merklichen Unterschiedes einander ganz gleichwerthig und vergleichbar sind, d. h. sämmtlich auf einer gleichen Anzahl in ganz gleicher Weise angestellter Vergleichen beruhen. Dasselbe, was von der Methode der eben merklichen Unterschiede gilt, muss, wie leicht zu erkennen, auch von der Methode der eben unmerklichen Unterschiede gelten.

Will man Versuche nach einer Methode anstellen, die wirklich ihrem Principe nach von der Methode der r. und f. Fälle und derjenigen der übermerklichen Unterschiede verschieden ist und auf eine directe Bestimmung des Unterschiedsschwellenwerthes ausgeht und dabei möglichst zuverlässige und zu einer genauen Prüfung des Weber'schen Gesetzes taugliche Resultate ergiebt, so hat man unseres Erachtens in folgender Weise zu verfahren. Man lässt einen vorhandenen, deutlich übermerklichen Zuwuchs zu derjenigen Reizstärke, welche betreffs der ihr zugehörigen Unterschiedsempfindlichkeit zu untersuchen ist, ganz allmählich mit möglichst gleichförmiger Geschwindigkeit verringern, vergleicht hierbei aufmerksam die beiden Unterschiedscomponenten und, sobald der Unterschied beider nicht mehr merklich erscheint, thut man sofort der Verminderung desselben Einhalt und lässt die Grösse desselben mit möglichster Genauigkeit bestimmen. Darauf bringt man die verminderte der beiden Unterschiedscomponenten wieder auf die gewählte Ausgangsintensität zurück und wiederholt den Versuch oder geht dazu über, die Grösse des eben merklichen Unterschiedes zu bestimmen, indem man in ganz gleicher Weise einen untermerklichen Unterschied, etwa von der Grösse 0, so lange erhöhen lässt, bis er eben merkbar wird. Hat man auf solche Weise eine beträchtliche Anzahl von Bestimmungen des eben merklichen Unterschiedes und eine gleiche Anzahl von Bestimmungen des eben unmerklichen Unterschiedes erhalten, so nimmt man aus allen den Werthen des eben merklichen und des eben unmerklichen Reizzuwuchses das Mittel und betrachtet diesen dem Unterschiedsschwellenwerthe S gleich zu setzenden Mittelwerth als Maass der Unterschiedsempfindlichkeit. Sind constante Einflüsse, etwa der Zeit- und Raumlage, vorhanden, in Folge deren der Werth von S constant zu gross oder zu klein erhalten wird, so lassen sich die hieraus entspringenden Fehler auf ganz entsprechende Weise wie bei Anwendung der Methode der r. und f. Fälle mit mehr oder weniger Annäherung eliminiren. Man hat den Mittelwerth der

bei einer bestimmten Zeit- und Raumlage erhaltenen eben merklichen und eben unmerklichen Unterschiede $= S + p + q$, wo p und q die in § 15 angegebene Bedeutung besitzen, und die Mittelwerthe der in den 3 anderen Hauptfällen erhaltenen eben merklichen und eben unmerklichen Unterschiede $= S + p - q$, $S - p + q$, $S - p - q$ zu setzen; durch Addition dieser 4 Mittelwerthe erhält man mithin sehr annähernd den Werth von $4S$.

Die in Vorstehendem kurz angedeutete, allerdings nicht gerade mühelose Combination der Methoden der eben merklichen und der eben unmerklichen Unterschiede wird zweifelsohne weit zuverlässigere und genauere Resultate ergeben als die gesonderten Benutzungen beider Methoden, und je mehr sich die bisherigen Anwendungen jener beiden Methoden der von uns angedeuteten combinatorischen Methode der eben merklichen und der eben unmerklichen Unterschiede, für welche wir den kürzeren, allerdings nicht ganz zutreffenden, Namen der „Methode der kleinsten Unterschiede“ vorschlagen, nähern, desto mehr Zutrauen verdienen die Endresultate derselben. Bisher hat man die Methode der eben merklichen Unterschiede und die der eben unmerklichen Unterschiede nur gesondert zur Anwendung gebracht; so haben z. B. Volkmann und Aubert ihre Lichtversuche nach der ersteren, hingegen Bouguer und Arago die ihrigen nach der letzteren Methode angestellt.*) Der Grund, weshalb es zur Gewinnung genauer Resultate nothwendig ist, beide Methoden zu einer einzigen „Methode der kleinsten Unterschiede“ zu combiniren, lässt sich leicht erkennen.

§ 21.

Lässt man nämlich einen deutlich übermerklichen Reizunterschied allmählich verringern, indem man die beiden Unterschiedscomponenten fortwährend mit Aufmerksamkeit vergleicht, so wird sich nach dem Früheren in Folge des Einflusses, welchen gewisse zufällige Fehlerursachen auf unsere Auffassung der beiden Reizstärken ausüben, der vorhandene Unterschied derselben in

*) Nur Delboeuf bestimmte bei seinen in § 45 zu erwähnenden Versuchen jedes Mal sowohl den eben merklichen als auch den eben unmerklichen Unterschied, aber jeden von beiden Unterschieden nur auf Grund einer einzigen Beobachtung.

unserer Auffassung immer um einen gewissen resultirenden Beobachtungsfehler α grösser oder kleiner darstellen, als er wirklich ist. Es sei nun S die wirkliche Grösse des Unterschiedsschwellenwerthes und der allmählich verminderte Reizunterschied D besitze gegenwärtig die Grösse $S + 10d$, so wird offenbar dieser Unterschied nicht mehr merklich erscheinen und mithin der eben unmerkliche Reizzuwuchs $= S + 10d$ gefunden werden, wenn der resultirende Beobachtungsfehler α negativ, d. h. dem thatsächlichen Reizunterschiede entgegenwirkend, und seinem absoluten Werthe nach $> 10d$ ist; denn unter solchen Umständen ist die algebraische Summe des thatsächlichen Unterschiedes D und des resultirenden Beobachtungsfehlers $< S$. Ist der Fehler α positiv oder ist er negativ und seinem absoluten Werthe nach $< 10d$, so wird mit der Verminderung von D fortgefahren; dasselbe wird allmählich $= S + 9d, = S + 8d$ u. s. f.; sobald aber, wenn D allgemein ausgedrückt $= S + nd$ ist, bei Auffassung der dargebotenen Reizdifferenz einmal ein negativer Fehler resultirt, der seinem absoluten Werthe nach $> nd$ ist, so wird sofort die allmähliche Verringerung von D beendet, dasselbe gemessen, der eben unmerkliche Unterschied der erhaltenen Grösse desselben gleich gesetzt und zur Anstellung einer neuen Beobachtung auf die gewählte Ausgangsgrösse des Reizunterschiedes zurückgegangen. Während so die negativen Werthe des resultirenden Beobachtungsfehlers α , so lange der Reizunterschied $D > S$ ist, je nach ihren absoluten Grössen dahin wirken können, dass der eben unmerkliche Unterschied zu gross erhalten wird, sind die positiven Werthe von α unter denselben Umständen nicht im Stande, diesen Einfluss der negativen Werthe zu compensiren und direct dahin zu wirken, dass der eben unmerkliche Reizunterschied zu klein ausfalle. Nur dann, wenn der Reizunterschied D , ohne jemals merklich geworden zu sein, allmählich so weit verringert worden ist, dass er $< S$ ist, können die positiven Werthe von α , falls sie gross genug ausfallen, einen solchen Einfluss ausüben, dass der Unterschied noch merklich erscheint, obwohl er bereits $< S$ ist, und mithin der eben unmerkliche Reizzuwuchs zu klein erhalten wird. Da nun offenbar bei allmählicher Verminderung eines übermerklichen Reizunterschiedes D der Fall, dass D , ohne jemals merkbar geworden zu sein, bis auf eine Grösse, die $< S$, etwa $= S - nd$ ist, herabgebracht worden sei und nun ein positiver Fehler α , der $> nd$ sei, resul-

ture, viel seltener eintreten wird als der entsprechende Fall, dass D bloss bis auf die Grösse $S + nd$ verringert worden sei und nun ein negativer Fehler resultire, der seiner absoluten Grösse nach $> nd$ sei, da also kurz diejenigen Fälle, wo $D < S$ ist und die positiven Werthe des resultirenden Beobachtungsfehlers dahin wirken können, dass der eben unmerkliche Reizzuwuchs zu klein erhalten wird, viel seltener vorkommen werden als diejenigen Fälle, wo $D > S$ ist und die negativen Werthe jenes Fehlers dahin wirken können, dass der eben unmerkliche Reizzuwuchs zu gross ausfällt, so wird nothwendig der mittlere Werth einer Anzahl von Einzelbestimmungen des eben unmerklichen Reizunterschiedes um einen gewissen Werth A zu gross, d. h. grösser als der Unterschiedsschwellenwerth, ausfallen, und zwar wird diese Grösse A von der Geschwindigkeit, mit welcher der gegebene übermerkliche Unterschied allmählich verringert wird, und von dem mittleren Werthe der resultirenden zufälligen Beobachtungsfehler abhängen und um so grösser sein, je geringer die erstere und je grösser der letztere ist. Aus ganz analogem Grunde wird, wie leicht zu erkennen, auch der mittlere Werth einer Anzahl von Einzelbestimmungen des eben merklichen Reizunterschiedes, die man nach dem oben angegebenen Verfahren durch allmähliche Erhöhung eines untermerklichen Reizunterschiedes gewinnt, kleiner als der Unterschiedsschwellenwerth ausfallen, und zwar wird diejenige Grösse, um welche er kleiner als der letztere Werth ist, jener Grösse A annähernd gleich und ebenfalls von der Geschwindigkeit der allmählichen Abänderung des Reizunterschiedes und dem mittleren Werthe der resultirenden zufälligen Beobachtungsfehler abhängig sein. Man hat daher offenbar, um den Unterschiedsschwellenwerth zu finden und um überhaupt eine Grösse zu erhalten, die man ohne Bedenken als Maass der Unterschiedsempfindlichkeit und zu einer genauen Prüfung des Weber'schen Gesetzes benutzen kann, die Methode der eben unmerklichen Unterschiede mit derjenigen der eben merklichen Unterschiede in der oben angedeuteten Weise zu combiniren und aus den erhaltenen eben unmerklichen und den in gleicher Zahl erhaltenen eben merklichen Reizunterschieden das Mittel zu nehmen.*)

*) Dass eine solche Combination der Methoden der eben merklichen und der eben unmerklichen Unterschiede zweckmässig sei, bemerken

§ 22.

Eine eingehendere mathematische Analyse dieser Methode der kleinsten Unterschiede zu geben, halten wir für verfrüht. Vergleicht man diese Methode mit derjenigen der r. und f. Fälle, so muss man unseres Erachtens doch der letzteren weit den Vorzug geben. Von vorn herein scheint gegen die letztere Methode zu sprechen, dass es bei derselben einer grösseren Anzahl von Beobachtungen bedarf. Allein während z. B. bei Gewichtsversuchen, die nach der Methode der r. und f. Fälle angestellt werden, nur so viele Wägungen erforderlich sind, als man verschiedene Hauptgewichte und Zusatzgewichte betreffs der ihnen entsprechenden relativen Zahlen richtiger und falscher Fälle untersucht, muss man bei Benutzung der Methode der kleinsten Unterschiede genau so viele Messungen von Reizdifferenzen vornehmen, als man Einzelbestimmungen des eben merklichen oder eben unmerklichen Unterschiedes erhält. Durch diesen Umstand, dass es zu jeder neuen Bestimmung des eben merkbaren oder eben unmerklichen Reizzuwuchses immer einer neuen Messung bedarf, wird die Benutzung der Methode der kleinsten Unterschiede, falls man die Endresultate aus einer hinreichend grossen Anzahl genauer Beobachtungen gewinnen will, eine sehr umständliche, eine weit umständlichere als die Benutzung der Methode der r. und f. Fälle, und trotz der grösseren Anzahl von Einzelbeobachtungen, deren es bei Anwendung letzterer Methode bedarf, wird eine sorgfältige Anwendung der ersteren Methode vielleicht nicht weniger zeitraubend sein. Wie ferner eine nähere Ueberlegung zeigt, hängt die Genauigkeit der mittels der Methode der kleinsten Unterschiede zu gewinnenden Versuchsergebnisse ganz wesentlich mit davon ab, dass bei Bestimmung des eben unmerklichen Unterschiedes die allmähliche Herabminderung des gegebenen übermerklichen Unterschiedes stets mit der gleichen Geschwindigkeit geschehe, mit welcher bei Ermittlung des eben merklichen Unterschiedes die allmäh-

bereits Fechner (Ps. I, S. 72) und Delboeuf (a. a. O. S. 8). Unsere obige Deduction der Nothwendigkeit einer Combination beider Methoden wird, wie in § 32 näher gezeigt wird, durch die Versuche bestätigt, welche Delboeuf nach der Methode der übermerklichen Unterschiede anstellte.

liche Erhöhung des zunächst gegebenen untermerklichen Reizunterschiedes stattfindet. Dieser Forderung lässt sich aber, wenigstens ohne sehr peinliche Vorsichtsmaassregeln, nur selten ganz genügen. Hierzu kommt, dass, falls, wie höchst wahrscheinlich allgemein der Fall ist, das Maass der Präcision, mit welcher ein Sinnesreiz aufgefasst wird, von der Intensität desselben abhängig ist, alsdann diejenige Grösse, um welche der mittlere Werth des eben merklichen Unterschiedes kleiner als der Unterschiedsschwellenwerth ausfällt, und diejenige, um welche der mittlere Werth des eben unmerklichen Unterschiedes zu gross erhalten wird, wenn man es streng nimmt, einander nicht ganz gleich zu setzen sind. Es dürfte sich demnach der Unterschiedsschwellenwerth mittels der Methode der kleinsten Unterschiede nicht mit gleicher Genauigkeit erhalten lassen, wie mittels der Methode der r. und f. Fälle, bei deren Anwendung, wie aus den früher abgeleiteten Formeln erhellt, die Abhängigkeit des Präcisionsmaasses von der absoluten Reizstärke für die Bestimmung des Unterschiedsschwellenwerthes ganz irrelevant ist.

Was die constanten Einflüsse betrifft, welche die Zeit- oder Raumlage der Unterschiedscomponenten oder andere Verhältnisse auf die Auffassung eines gegebenen Reizunterschiedes ausüben, so lassen sich dieselben sowohl durch alleinige Anwendung der Methode der eben merklichen Unterschiede als auch durch eine solche der Methode der eben unmerklichen Unterschiede annähernd bestimmen, wenn auch nicht mit gleicher Genauigkeit wie mittels der Methode der r. und f. Fälle. Man setze z. B. den aus einer grösseren Anzahl von Einzelbeobachtungen bei bestimmter Raumlage der Unterschiedscomponenten erhaltenen Werth des eben merklichen Unterschiedes $= d + q$, wo q die Grösse des constanten Fehlers bedeutet, welcher der betreffenden Raumlage entspricht, so wird man den bei entgegengesetzter Raumlage erhaltenen eben merklichen Unterschied $= d - q$ setzen können, mithin durch Subtraction des letzteren Werthes von dem ersteren annähernd die Grösse $2q$ finden. Betreffs des Maasses der Präcision, mit welcher ein gegebener Sinnesreiz aufgefasst wird, lässt sich, wie in § 7 gesehen, mittels der Methode der r. und f. Fälle, nicht aber mittels der Methode der kleinsten Unterschiede directe Auskunft erhalten; auch hierin dürfte ein Nachtheil der Anwendung der letzteren Methode zu erblicken sein.

§ 23.

So viel über das Verhältniss der Methode der kleinsten Unterschiede zur Methode der r. und f. Fälle. Wir betrachten die erstere Methode als diejenige Methode, auf die man nothwendig geführt wird, wenn man das Princip der unmittelbaren Bestimmung des Unterschiedsschwellenwerthes durch allmähliche Abänderung eines gegebenen über- oder untermerklichen Reizunterschiedes, welches der Methode der eben merklichen und derjenigen der eben unmerklichen Unterschiede zu Grunde liegt, mit grösstmöglicher Genauigkeit durchführen will. Dabei verwerfen wir keineswegs ganz alle bisherigen gesonderten Anwendungen der beiden letzteren Methoden. Zu einer vorläufigen Prüfung des Weber'schen Gesetzes halten wir vielmehr verschiedene Modificationen der Methode der eben merklichen oder der eben unmerklichen Unterschiede tauglich. Es würde uns zu weit führen, wollten wir hier auf dieselben näher eingehen; nur eines müssen wir noch kurz bemerken. Als dasjenige Verfahren, welches dem Principe der Methode der eben merklichen Unterschiede am meisten entspricht, haben wir oben dasjenige Verfahren bezeichnet, bei welchem ein untermerklicher Unterschied allmählich so lange vergrössert wird, bis er eben merkbar erscheint, und dann sofort die Abänderung des Unterschiedes beendet und derselbe gemessen wird.*) Wie gezeigt, erhält man bei diesem Verfahren, falls man nicht mit demselben eine entsprechende Anwendung der Methode der eben unmerklichen Unterschiede combinirt, nothwendig den Unterschiedsschwellenwerth nicht unbeträchtlich zu klein. Man darf nun nicht denken, dass — von den in § 18 und § 19 besprochenen Versuchsweisen ganz abgesehen — die bisher nach der Methode der eben merklichen Unterschiede angestellten Versuchsreihen genau

*) Man braucht die verschiedenen Abstufungen des Reizunterschiedes nicht nothwendig dadurch herzustellen, dass man einen und denselben Reizuwuchs allmählich abändert, sondern kann allenfalls auch so verfahren, dass man eine grössere Anzahl abgestufter Reizunterschiede herstellt und dann dieselben in der gehörigen Reihenfolge von der Versuchsperson beobachten lässt. Aehnlich verfuhr z. B. Helmholtz bei seinen in § 45 zu erwähnenden Versuchen, indem er auf einer rotirenden Scheibe eine Anzahl gleichzeitiger, abgestufter Helligkeitsunterschiede herstellte.

in der obigen, von uns vorgeschlagenen Weise angestellt und mithin, da eine Combination der Methode der eben merklichen Unterschiede mit der Methode der eben unmerklichen Unterschiede nicht stattgefunden, die Resultate derselben sämmtlich mit nicht unbeträchtlichen Fehlern behaftet seien. So hat z. B. Volkmann (vergl. Fechner, Ps. I, S. 149 f.) seine Schattenversuche in der Weise angestellt, dass die entferntere der beiden eine weisse Fläche beleuchtenden Kerzen (die Kerze L') allmählich so weit entfernt wurde, bis der von ihr auf der weissen Fläche geworfene Schatten aufhörte merklich zu sein und dann „wurde um den Punkt des Verschwindens herum die Lichtquelle L' abwechselnd hin- und hergerückt, so dass zwischen dem Punkte des Verschwindens und Wiedererscheinens des Schattens der Punkt der Ebenmerklichkeit möglichst genau erhalten wurde.“ Aehnlich scheint auch Aubert seine Versuche angestellt zu haben. Bei Anwendung eines solchen Versuchsvorgahrens wird offenbar durch die abwechselnde Vergrösserung und Verkleinerung des anscheinend an der Grenze der Merklichkeit befindlichen Reizunterschiedes verhütet, dass sich in der früher angedeuteten Weise fast ausschliesslich die positiven oder die negativen Werthe des resultirenden Beobachtungsfehlers bei Bestimmung des Unterschiedsschwellenwerthes geltend machen und der letztere demgemäss nicht unbeträchtlich zu klein, bez. zu gross, erhalten wird. Was sich gegen jenes, bei Volkmann's Schattenversuchen zur Anwendung gekommene Verfahren hauptsächlich einwenden lässt, ist dies, dass bei demselben jeder einzelnen Bestimmung des eben merklichen Unterschiedes zwar eine grössere Anzahl von Beobachtungen des abwechselnd nach dieser und nach jener Richtung abgeänderten Reizunterschiedes zu Grunde liegt, dieselbe aber doch im Grunde nur durch ein unsicheres innerliches Facitziehen aus den Resultaten dieser momentanen Beobachtungen oder gar nur durch ganz willkürliches Ermessen zu Stande kommt. Volkmann und Aubert selbst (vergl. Aubert, a. a. O. S. 55) gestehen zu, dass das von ihnen angewandte Verfahren keine grosse Schärfe in Einzelversuchen zulasse und man das Licht L' innerhalb einer gewissen Weite, die etwa $\frac{1}{10}$ des Totalbestandes betrage, verrücken könne, ohne genau zu wissen, wo man den Punkt der Ebenmerklichkeit des Schattens fixiren solle, und dass demgemäss bei Anwendung dieses Vorgahrens das subjective Ermessen einen nicht zu elimi-

nirenden Factor bilde. Will man diesen Factor eliminiren, so hat man eben, wie in § 20 hinlänglich erörtert, die Entscheidung darüber, ob ein gegebener Reizunterschied eben merklich sei, nicht von dem Resultate einer längeren und oft wiederholten Vergleichung beider Unterschiedscomponenten abhängig zu machen, sondern einen untermerklichen Unterschied allmählich erhöhen zu lassen und, sobald derselbe, sei es auch nur momentan, merklich erscheint, die Grösse desselben zu messen, derartige Bestimmungen des eben merklichen Unterschiedes in grösserer Anzahl auszuführen und mit dieser Anwendung der Methode der eben merklichen Unterschiede eine ganz entsprechende Benutzung der Methode der eben unmerklichen Unterschiede zu verbinden. Kurz die obige Methode der kleinsten Unterschiede ist zweifelsohne die präcise und vom Standpunkte der Fehlertheorie aus durchsichtigste Anwendung desjenigen Principes, das den Methoden der eben merklichen und der eben unmerklichen Unterschiede zu Grunde liegt.

6. Capitel.

Die Methode der mittleren Fehler.

§ 24.

Die Aufgabe und die Art der Anwendung der Methode der mittleren Fehler bei Gewichtsversuchen characterisirt Fechner (Ps. I, S. 72), der sich auch mit dieser Methode eingehend beschäftigt hat und dieselbe für eine der vorzüglichsten psychophysischen Maassmethoden erklärt, kurz folgendermaassen: „Hat man sich bloss das Gewicht des einen Gefässes als Normalgewicht mittels der Wage gegeben, so kann man versuchen, das andere, das Fehlgewicht, nach dem blossen Urtheile der Empfindung jenem gleich zu machen. Hierbei wird man im Allgemeinen einen gewissen Irrthum, Fehler begehen, den man findet, wenn man das zweite Gefäss, nachdem man es dem ersten als gleich taxirt hat, nachwiegt. Wiederholt man den Versuch oft, so wird man viele Fehler erhalten, aus denen man durch

Mittelziehung einen mittleren Fehler gewinnen kann. Die Empfindlichkeit für Gewichtsunterschiede wird der Grösse des mittleren Fehlers, den man so erhält, reciprok zu setzen sein.“ Da die ausgedehntesten der bisherigen nach der Methode der mittleren Fehler angestellten Experimentaluntersuchungen Versuche mit Distanzen waren, die mittels des Augenmaasses verglichen wurden, so ziehen wir es vor, unserer Erörterung dieser Methode das Beispiel von Augenmaassversuchen, die nach derselben angestellt werden, zu Grunde zu legen. Wir nennen mit Fechner diejenige Distanz, welche bei den Augenmaassversuchen constant erhalten wird, die Normaldistanz und die andere Distanz, welche ihr gleich geschätzt worden ist, die Fehldistanz. Den Fehler, um welchen eine Fehldistanz von der Normaldistanz abweicht, bezeichnet man als den rohen Fehler. Leitet man aus einer grossen Anzahl von Beobachtungen den mittleren Werth der Fehldistanz ab, so zeigt sich, dass derselbe im Allgemeinen nicht mit der Normaldistanz zusammenfällt. Man bezeichnet die Abweichung der mittleren Fehldistanz von der Normaldistanz als den constanten Fehler und die Abweichung einer einzelnen Fehldistanz von der mittleren als den reinen variablen Fehler. Der rohe Fehler, der bei Herstellung einer Fehldistanz begangen wird, setzt sich mithin aus dem constanten und dem reinen variablen Fehler zusammen. Nur die reinen variablen Fehler sind nach Fechner zum Maasse der Unterschiedsempfindlichkeit zu verwenden, indem man den mittleren Werth derselben bestimmt und als eine dem Unterschiedsschwellenwerthe proportionale Grösse betrachtet. Der constante Fehler beruht nach Fechner's Ansicht „auf constanten Einflüssen der Zeit- und Raumlage der verglichenen Grössen und der durch subjective Verhältnisse mitbestimmten Weise, wie durch sie das Urtheil afficirt wird.“ Für äusserst wichtig für die Methode erklärt Fechner den Umstand, dass, wie sich durch Experimente herausgestellt habe, der reine variable Fehler vom constanten Fehler wesentlich unabhängig sei, so dass man bei entgegengesetzter Raum- und Zeitlage der verglichenen Distanzen, womit sich der constante Fehler in entgegengesetztem Sinne ändere und die rohe Fehlersumme oft sehr verschieden ausfalle, meist merklich dieselbe reine Fehlersumme erhalte und es hiernach zur Ermittlung des Verhaltens des reinen variablen Fehlers oft nicht nöthig erscheine, die Versuche darüber bei entgegen-

gesetzter Raum- und Zeitlage der verglichenen Distanzen zu wiederholen. Auf die weiteren schätzenswerthen Ausführungen Fechner's über diese Methode und deren Anwendung gehen wir nicht näher ein; uns soll im Folgenden nur die Frage beschäftigen, ob man berechtigt ist, den mittleren Werth der reinen variablen Fehler als eine dem Unterschiedsschwellenwerthe proportionale Grösse zu betrachten. Weder Fechner noch sonst Jemand ist bisher auf diese Fundamentalfrage eingegangen, von deren Beantwortung die Beweiskraft sämtlicher nach der Methode der mittleren Fehler angestellter Versuchsreihen abhängt. Man kann freilich, falls man Vergnügen daran empfindet, die Unterschiedsempfindlichkeit ohne weitere Rücksichtnahmen so definiren, wie es gerade beliebt, also auch auf jeden Fall dem mittleren Fehler schlechthin reciprok setzen. Will man aber aus dem Verhalten der in dieser Weise definirten Unterschiedsempfindlichkeit auf das Maass der Gültigkeit, bez. Ungültigkeit, des Weber'schen Gesetzes schliessen, welches doch zunächst nur besagt, dass für ein und dieselbe Reizqualität die relative Grösse des Unterschiedsschwellenwerthes einen constanten Werth besitze, so muss man vor Allem erst wissen, wie sich der mittlere Fehler zu dem Unterschiedsschwellenwerthe verhält. So lange man dies nicht weiss, kann man zwar — und dies wird bei Anwendung eines geeigneten Versuchsverfahrens immer instructiv sein — Versuche nach der Methode der mittleren Fehler anstellen, so viele man will, und die relative Unterschiedsempfindlichkeit dem relativen Werthe des mittleren Fehlers reciprok setzen; nur darf man dann nicht dasjenige, was von der in dieser Weise definirten relativen Unterschiedsempfindlichkeit gilt, auf die der relativen Grösse des Unterschiedsschwellenwerthes reciprok gesetzte Unterschiedsempfindlichkeit, deren Constanz das Weber'sche Gesetz behauptet, übertragen.

§ 25.

Wenn man versucht, eine Distanz F herzustellen, die einer gegebenen Distanz N möglichst gleich sei, so scheint man auf folgende Weise verfahren zu müssen. Man verringert, bez. vergrössert, zunächst allmählich eine gegebene Distanz, die deutlich grösser, bez. kleiner, als die Distanz N ist, bis man so

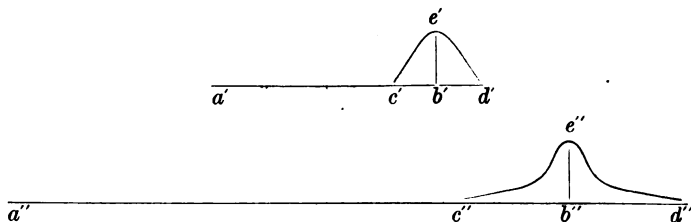
weit gelangt ist, dass der Unterschied beider Distanzen nicht mehr merklich ist. Hat man diesen Punkt der Ebenunmerklichkeit des Distanzunterschiedes erreicht, so darf man sich hiermit nicht begnügen. Denn man will ja die Fehldistanz F nicht gleich $N+S$ oder gleich $N-S$, wo S den in Betracht kommenden Unterschiedsschwellenwerth bedeutet, sondern womöglich $= N$ machen; man würde aber offenbar, wenn man mit der allmählichen Abänderung der Fehldistanz F sofort dann aufhörte, sobald der Unterschied derselben von der Normaldistanz unmerklich wird, — von den constanten Fehlern ganz abgesehen — gar nicht erwarten dürfen, dass die Fehldistanz der Normaldistanz gleich ausfalle, sondern höchstens vorauszusetzen haben*), dass erstere Distanz im Mittel nur um die Grösse des Unterschiedsschwellenwerthes oder einen davon nur äusserst wenig verschiedenen Werth grösser oder kleiner ausfalle als die Normaldistanz. Man muss mithin, wenn man wirklich die Distanz F der Normaldistanz möglichst gleich machen will, auch dann, wenn der Unterschied beider Distanzen unmerklich geworden ist, mit der Abänderung von F fortfahren und die Weite desjenigen Gebietes von Distanzgrössen annähernd kennen zu lernen suchen, innerhalb dessen sich die Distanz F bewegen kann, ohne nothwendig grösser oder kleiner als N zu erscheinen, und dann, so gut als es eben geht, durch Hin- und Herrücken der beiden Distanz bildenden Fäden oder Zirkelspitzen oder wenigstens der einen derselben den mittleren Werth jener nicht nothwendig von N unterscheidbaren Grössen der Fehldistanz herzustellen suchen.

§ 26.

Bei diesem Verfahren wird jede endgültige Einstellung der Fehldistanz F allgemein mit einem gewissen, positiven oder negativen, Einstellungsfehler Δ behaftet sein; es fragt sich nun: muss der mittlere Werth Δ_m der bei einer grossen Anzahl von Versuchen begangenen Einstellungsfehler dem Unterschiedsschwellenwerthe S proportional sein?

*) Dass man im Grunde auch nicht einmal dies vorauszusetzen, vielmehr zu erwarten haben würde, dass F sogar noch grösser als $N+S$, bez. noch kleiner als $N-S$, ausfallen werde, geht aus den Ausführungen des § 21 hinlänglich hervor.

Zunächst scheint klar zu sein, dass der Fehler \mathcal{A} niemals grösser als der zur Normaldistanz N zugehörige Unterschiedsschwellenwerth ausfalle, und dieser Umstand scheint die Vermuthung nahe zu legen, dass der mittlere Fehler \mathcal{A}_m dem Werthe S wirklich proportional gehe. Allein auch wenn das Erstere wirklich ganz ausgemacht wäre, so würde daraus noch lange nicht folgen, dass \mathcal{A}_m proportional zu S ist. Es stelle $a'b'$ eine Normaldistanz N vor; $b'c'$ sowie $b'd'$ sei gleich dem zu N zugehörigen Unterschiedsschwellenwerthe S' und die Curve $c'e'd'$ deute die Wahrscheinlichkeiten der von b' aus gerechneten, positiven und negativen, Einstellungsfehler \mathcal{A} an, die bei Herriichtung der Fehldistanz F' begangen werden, indem F' allgemein $= N \pm \mathcal{A}'$ gemacht wird. Ferner stelle $a''b''$ eine etwa 3 Mal so grosse Normaldistanz N'' vor; der dieser zugehörige Unterschiedsschwellenwerth S'' sei $= b''d'' = b''c''$.



Wird nun angenommen, dass die Fehler \mathcal{A}'' , die in zahlreichen Fällen der Herstellung einer der Distanz N'' möglichst gleichen Fehldistanz begangen werden, sämtlich innerhalb der Grenzen 0 und $b''c''$, bez. 0 und $b''d''$, liegen, so sind zunächst unzählbare verschiedene Curven für die Repräsentation der Wahrscheinlichkeiten der verschiedenen Einstellungsfehler \mathcal{A}'' denkbar. Vor Allem könnte man sich denken, dass das Wahrscheinlichkeitsgesetz dieser Fehler durch eine Curve etwa von der Art der Curve $c''e''d''$ anzudeuten sei. Dieser Curve gemäss würden sich die Einstellungsfehler \mathcal{A}'' , in ihrem Verhältnisse zu S'' gemessen, dichter um den Werth 0 herumschaaren, als dies die Fehler \mathcal{A}' , in ihrem Verhältnisse zu S' gemessen, der Curve $c'e'd'$ gemäss thun, und demgemäss kann, wenn wirklich eine Curve von der Art der Curve $c''e''d''$ das Wahrscheinlichkeitsgesetz der Fehler \mathcal{A}'' repräsentirt, der mittlere Werth \mathcal{A}_m'' derselben nicht in demselben Verhältnisse zu S'' stehen,

in welchem \mathcal{A}_m' zu S' steht, vielmehr muss $\frac{\mathcal{A}_m''}{S''} < \frac{\mathcal{A}_m'}{S'}$ sein.

Ebenso wie sich nun die Curve $c''e''d''$ zur Curve $c'e'd$ verhält, kann sich auch die Wahrscheinlichkeitscurve derjenigen Einstellungsfehler, welche bei Benutzung einer die Distanz $a''b''$ weit übertreffenden Normaldistanz begangen werden, zur Curve $c''e''d''$ verhalten. Allgemein, wenn die Fehler Δ , die bei Herstellung einer Fehldistanz F vorkommen, innerhalb der Grenzen 0 und $+S$ liegen, so ist sehr wohl denkbar, dass dieselben mit wachsendem S zwar im Durchschnitt gleichfalls etwas zunehmen, aber in ihrem Verhältnisse zu S gemessen, sich umso mehr um den Werth 0 herumschaaren, je grösser S ist. Ist aber ein solches Verhalten der Einstellungsfehler wohl denkbar und zur Zeit noch nicht nachgewiesen, dass ein solches nicht statthabe, so darf der mittlere Werth dieser Fehler keineswegs dem Unterschiedsschwellenwerthe schlechthin proportional gesetzt werden, und wenn sich z. B. bei der oben angedeuteten Anwendung der Methode der mittleren Fehler, ähnlich wie bei Volkmann's Augenmaassversuchen, herausstellt, dass der relative Werth des mittleren Einstellungsfehlers sich bei wachsender Normaldistanz allmählich verringert, so ist daraus durchaus nicht mit Sicherheit darauf zu schliessen, dass auch die relative Grösse des Unterschiedsschwellenwerthes bei zunehmender Normaldistanz abnehme; vielmehr kann sich ein solches Resultat, an und für sich betrachtet, mit der Annahme, dass das Weber'sche Gesetz für das Augenmaass streng gültig sei, wohl vertragen, wenn man die zur Zeit nicht bewiesene, aber auch nicht widerlegte Voraussetzung macht, dass die Einstellungsfehler, in ihrem Verhältnisse zum Unterschiedsschwellenwerthe S gemessen, sich um so mehr um den Werth 0 herumschaaren, je grösser S ist.

Allgemein lässt sich sagen, dass man nur dann berechtigt ist, den mittleren Einstellungsfehler dem Unterschiedsschwellenwerthe proportional zu setzen, wenn sich die Wahrscheinlichkeit dafür, dass bei Herrichtung einer Fehldistanz ein Fehler Δ begangen werde, allgemein als eine Function von $\frac{\Delta}{S}$ betrachten

lässt, wo S den der betreffenden Normaldistanz entsprechenden Unterschiedsschwellenwerth bedeutet, und demgemäss die Wahrscheinlichkeiten dafür, dass bei Anwendung einer Normaldistanz N ein Fehler von der Grösse Δ begangen werde, und dass bei Benutzung der Normaldistanz N'' ein Einstellungsfehler von dem Betrage Δ' vorkomme, nur dann gleich gross sind, wenn

$\frac{\Delta'}{S'} = \frac{\Delta''}{S''}$ ist. Versucht man aus einer Analyse des oben angedeuteten Verfahrens das Wahrscheinlichkeitsgesetz der Einstellungsfehler abzuleiten, so stösst man auf unüberwindliche Schwierigkeiten. Dieses Wahrscheinlichkeitsgesetz hängt davon ab, inwieweit wir, nachdem wir uns gewissermaassen einen Ueberblick über die von der Normaldistanz nicht unterscheidbaren Distanzgrössen verschafft haben, im Stande sind, ein richtiges Urtheil darüber zu fällen, welche Distanz den mittleren Werth dieser Distanzgrössen repräsentire, und inwieweit wir alsdann diejenige Distanz, von der als einer der Normaldistanz gleichen Distanz wir uns innerlich ein Bild entworfen haben, auch wirklich herzustellen vermögen. Es ist aber ganz unmöglich, näher anzugeben, in welcher Weise diese beiden Factoren, die Trüglichkeit unseres Urtheils und die Unsicherheit der Hand, das Wahrscheinlichkeitsgesetz der Einstellungsfehler bei Anwendung verschiedener Normaldistanzen beeinflussen. Die Sache wird noch weit complicirter, wenn wir, was wir bisher noch nicht gethan, mit in Betracht ziehen, dass, wie die von Hegelmayer versuchte Anwendung der Methode der r. und f. Fälle im Gebiete des Augenmaasses hinlänglich darthut, auch die Auffassung zweier Distanzgrössen durch das Augenmaass dem Miteinflusse zufälliger Fehlerursachen unterliegt. Wird eine Distanz F mit einer anderen Distanz N verglichen, so unterliegt sowohl die Auffassung von F als auch diejenige von N dem Einflusse zufälliger Fehlerursachen; es wird also sowohl bei Auffassung der ersteren als auch bei Auffassung der zweiten Distanz ein gewisser zufälliger Beobachtungsfehler δ begangen, der durchaus nicht mit dem Einstellungsfehler Δ , dessen mittleren Werth die in Rede stehende Methode zu ermitteln sucht, zu verwechseln ist. Der Fall, dass sowohl bei Auffassung von F als auch bei Auffassung von N ein gewisser zufälliger Beobachtungsfehler begangen wird, lässt sich nach § 4 und § 5 auf den einfacheren Fall reduciren, dass nur bei Auffassung von F ein gewisser, positiver oder negativer, Fehler (der resultirende Beobachtungsfehler α) begangen werde und, während unsere Auffassung von N immer dieselbe bleibe, sich F in unserer Auffassung so darstelle, als sei es $= F \pm \alpha$. Hiernach wird die Fehldistanz F thatsächlich immer dann nicht mehr von N unterscheidbar sein, wenn $F \pm \alpha > N - S$ und $< N + S$ ist. Es werden daher

Fälle vorkommen, wo die messbare Fehldistanz F , während sie von der Normaldistanz nicht mehr unterscheidbar erscheint, wegen des Miteinflusses der zufälligen Fehlervorgänge thatsächlich doch noch grösser als $N+S$, bez. kleiner als $N-S$, ausfällt. Demgemäss wird, wenn wir vor jeder endgültigen Einstellung der Fehldistanz uns in der oben angedeuteten Weise einen Ueberblick über den Bereich der von der Normaldistanz nicht mehr unterscheidbaren Distanzgrössen zu verschaffen suchen, der Bereich dieser Grössen das eine Mal grösser erscheinen als ein anderes Mal und das eine Mal dieses, das andere Mal jenes Centrum zu besitzen scheinen. Es wird sich ereignen können, dass eine Distanzgrösse, die wir für die mittlere der von N nicht unterscheidbaren Distanzen gehalten haben, nach ihrer Herstellung uns auf einmal in Folge eines plötzlichen Anwachsens der zufälligen Fehlervorgänge grösser oder kleiner als N erscheint; und man hat durchaus keine Gewähr dafür, dass man bei Herichtung der Fehldistanz nicht mitunter einen Einstellungsfehler begeht, der sogar grösser ist als der Unterschiedsschwellenwerth. Unter solchen Umständen, wo sich gar nicht absehen lässt, wie sich die Wahrscheinlichkeiten der Einstellungsfehler mit der Grösse der Normaldistanz und dem Unterschiedsschwellenwerthe ändern, und wo man nicht einmal sicher ist, dass die Einstellungsfehler sich stets sämmtlich innerhalb der Grenzen 0 und $+S$ halten, schwindet aller Schein einer Berechtigung, den mittleren Werth dieser Fehler schlechthin als eine dem Unterschiedsschwellenwerthe proportionale Grösse zu betrachten.*)

*) Die Triftigkeit unserer obigen Ausführungen wird, wie leicht zu erkennen, nicht im Mindesten dadurch beeinträchtigt, dass wir im Obigen die Möglichkeit des Begehens constanter Fehler nicht mit berücksichtigt haben. Will man hierauf Rücksicht nehmen, so hat man statt des schlechthinigen Einstellungsfehlers die Abweichung vom mittleren Werthe desselben, den sogenannten reinen variablen Fehler, in Betracht zu ziehen. Es lässt sich alsdann ganz in der obigen Weise zeigen, dass weder die Werthe des reinen variablen Fehlers innerhalb der Grenzen 0 und $+S$ zu liegen brauchen, noch überhaupt festzustellen ist, wie sich die Wahrscheinlichkeiten derselben mit der Grösse der Normaldistanz und dem Unterschiedsschwellenwerthe ändern.

§ 27.

Man kann nun allerdings bei Anwendung der Methode der mittleren Fehler noch in anderer Weise verfahren, als wir in § 25 angegeben haben; nur würde man alsdann sich nicht desjenigen Verfahrens bedienen, bei welchem man jede Fehldistanz so sehr, als es überhaupt möglich ist, der Normaldistanz gleich zu machen sucht. Aber hiervon ganz abgesehen, so lange man nicht wirklich darzuthun vermag, in welchem Verhältnisse bei Anwendung des betreffenden Versuchsverfahrens der mittlere Werth der reinen variablen Fehler zu dem Unterschiedsschwellenwerthe steht, so lange werden die erhaltenen Versuchsergebnisse zur Prüfung des Weber'schen Gesetzes ganz untauglich sein; und wegen der Existenz der zufälligen Fehlervorgänge ist man bei keinerlei Art der Benutzung der in Rede stehenden Methode sicher, dass die reinen variablen Fehler sämmtlich innerhalb der Grenzen 0 und $\pm S$ liegen, geschweige denn, dass der mittlere Werth derselben genau im gleichen Verhältnisse wie S zu- oder abnehme. Unter allen den verschiedenen Modificationen der Methode der mittleren Fehler, die wir uns auszudenken vermögen, giebt es auch nicht eine, welche einer genaueren mathematischen Analyse fähig ist; sie sind sämmtlich von Factoren mit abhängig, deren Einfluss nicht hinlänglich bekannt ist, und viel zu complicirt, als dass sich auf theoretischem Wege ausmachen liesse, in welchem Verhältnisse der mittlere Werth der reinen variablen Fehler zu dem Unterschiedsschwellenwerthe steht. Bei sehr grosser Ausdauer und Sorgfalt wird es allenfalls auf experimentellem Wege möglich sein, die thatsächliche Beziehung des bei einem bestimmten Versuchsverfahren erhaltenen mittleren Fehlers zu dem Unterschiedsschwellenwerthe näher zu ermitteln, indem man für eine hinreichende Anzahl verschiedener Versuchsumstände, für welche man mittels des betreffenden Versuchsverfahrens den mittleren Werth der reinen variablen Fehler bestimmt hat, mittels Anwendung der Methode der r. und f. Fälle oder der Methode der kleinsten Unterschiede den Unterschiedsschwellenwerth bestimmt und dann die erhaltenen Grössen des mittleren Fehlers und des Unterschiedsschwellenwerthes mit einander vergleicht.

Der Nachweis, dass bei Anwendung verschiedener Normaldistanzen ein und dasselbe Wahrscheinlichkeitsgesetz für die

reinen variablen Fehler gelte, dass z. B., wie es nach den bisherigen, thatsächlich oder angeblich nach der Methode der mittleren Fehler angestellten Versuchsreihen der Fall zu sein scheint, die Wahrscheinlichkeiten jener Fehler bei Benutzung jeder beliebigen Normaldistanz dem bekannten, Gauss'schen Fehlergesetze annähernd entsprechen, berechtigt durchaus nicht dazu, den mittleren Fehler dem Unterschiedsschwellenwerthe proportional zu setzen. Hierzu würde die Thatsache, dass die Wahrscheinlichkeiten w der reinen variablen Fehler Δ dem Fehlergesetze:

$w = ce^{-h^2 \Delta^2}$, annähernd genügen, nur dann berechtigen, wenn gleichzeitig nachgewiesen wäre, dass die Grösse h , die in diesem Fehlergesetze vorkommt und dem mittleren Werthe der Fehler Δ reciprok ist, auch dem Unterschiedsschwellenwerthe umgekehrt proportional sei; und eben dies wird man auf theoretischem Wege nicht beweisen können.*)

*) Wenn sich bei Anwendung des in § 25 angegebenen oder eines anderen ähnlichen Verfahrens herausstellt, dass die Wahrscheinlichkeiten der reinen variablen Fehler annähernd dem oben angeführten Fehlergesetze entsprechen, so ist das in letzterem vorkommende Präcisionsmaass h keineswegs mit dem für die Methode der r. und f. Fälle wichtigen, im 3. Capitel vielfach angeführten und erörterten Präcisionsmaasse zu identificiren. Letzteres Präcisionsmaass ist eine Grösse, welche dem mittleren Werthe der bei Auffassung eines gegebenen Sinnesreizes begangenen zufälligen Beobachtungsfehler reciprok ist, ersteres Präcisionsmaass hingegen eine Grösse, welche dem mittleren Werthe der bei Herstellung einer gewissen Fehldistanz, eines Fehlgewichtes u. dergl. begangenen reinen variablen Fehler reciprok ist. Ersterer Mittelwerth hängt lediglich von den zufälligen Fehlervorgängen ab und ist derjenige Werth, um welchen uns in Folge dieser Vorgänge ein gegebener Sinnesreiz, z. B. eine gegebene Distanz, im Mittel grösser oder kleiner erscheint, als er wirklich ist. Hingegen ist der mittlere Werth der reinen variablen Fehler ausser von den zufälligen Fehlervorgängen, welche sich bei Auffassung der gegebenen Normaldistanz und bei Auffassung der Fehldistanz geltend machen, vor Allem auch von der Grösse des Unterschiedsschwellenwerthes, von der Unsicherheit der Hand und anderen Factoren abhängig. Fechner identificirt irrthümlicher Weise jene beiden Mittelwerthe, indem er (Ps. I, S. 129) bemerkt, dass die Methode der r. und f. Fälle, falls man den mittleren Werth der reinen variablen Fehler als Differenzgrösse (Mehrgewicht bei Gewichtsversuchen) verwende, das Verhältniss $\frac{r}{n}$ gleich 0,655032 ergeben werde.

7. Capitel.

Die bisherigen Versuche nach der Methode der mittleren Fehler.

§ 28.

Als Versuche, bei denen die Methode der mittleren Fehler zur Anwendung gekommen sei, und die zur Prüfung des Weber'schen Gesetzes dienen könnten, pflegen erstens die Versuche, welche Steinheil angestellt hat, um die Tauglichkeit seines „Ocularapparates zur Vergleichung der Helligkeit erleuchteter Flächen“ zu erproben, zweitens eine das Augenmaass betreffende Versuchsreihe Fechner's und drittens die zahlreichen Versuchsreihen angeführt zu werden, welche Volkmann nebst mehreren Mitbeobachtern gleichfalls im Gebiete des Augenmaasses ausführte. Hierzu kommen noch die neuerdings im Felde des Gesichtssinnes angestellten Versuche von Trannin und von W. Camerer (vergl. § 67). Die Versuchsreihen, welche Lindemann mit Temperaturreizen angestellt hat, lassen sich wegen der geringen Anzahl von Einzelversuchen, welche auf jedes Temperaturintervall kommen, kaum als Versuche bezeichnen, die nach dem Principe der Methode der mittleren Fehler ausgeführt worden seien. Von Fechner's Tastversuchen (vergl. Fechner, Ps. II, S. 343 ff.) sehen wir hier ab. Nach den Auseinandersetzungen des vorstehenden Capitels kann man neugierig sein, zu erfahren, wie denn eigentlich, ob etwa nach dem in § 25 von uns angegebenen oder nach einem anderen Verfahren, jene Forscher ihre hier in Rede stehenden Versuche ausgeführt haben. Betreffs der Versuche Steinheil's erfahren wir nun leider in dieser Hinsicht gar nichts; Steinheil (a. a. O. S. 76) begnügt sich damit, zu bemerken, dass er auf gleiche Helligkeit der beiden zu vergleichenden Lichtflächen eingestellt habe. Auf die gleiche Bemerkung beschränkt sich Camerer; die Originalmittheilungen von Trannin sind uns zur Zeit noch nicht zu Händen gekommen. Auch Fechner theilt uns betreffs der Art und Weise, wie er bei seinen Augenmaassversuchen verfahren ist, gar nichts Näheres mit. Nur Volkmann (a. a. O. S. 117) lässt sich über die Anwendung, welche die Methode der mittleren Fehler bei seinen Augenmaassversuchen gefunden habe, folgendermaassen

näher aus: „Die Versuche sind zunächst nach der Methode der mittleren Fehler angestellt worden. Wenn eine bestimmte Distanz (Fechner's Normaldistanz) gegeben ist, so sucht man ihr eine zweite (Fechner's Fehldistanz) gleich zu machen. Hierbei wird man im Allgemeinen einen gewissen Fehler begehen, welcher davon abhängig ist, dass Grössenunterschiede nur bis zu einer gewissen Grenze der Kleinheit wahrnehmbar sind. Um die Bedeutung dieser Fehler richtig aufzufassen, muss man bedenken, dass ein Fehler, welchen man bei solchen Ausgleichungsversuchen macht, die Grösse eines unbemerkt gebliebenen Unterschiedes darstellt. Bedenkt man nun, wie die Aufgabe der Ausgleichung dadurch gelöst wird, dass man einen noch merkbaren Unterschied so lange verkleinert, bis er in's Unmerkliche übergeht, so ist einleuchtend, dass bei vorsichtigem Verfahren der verkennbare Unterschied nur um ein Minimum kleiner sein kann als der eben noch erkennbare. Wenn also die Werthe der kleinsten erkennbaren Grössenunterschiede nach dem Weber'schen Gesetze relative sind, d. h. mit den verglichenen Dimensionen und wie diese wachsen, so müssen die kleinsten (grössten?) verkennbaren Unterschiede sich entsprechend verhalten. Sie müssen ebenfalls mit den verglichenen Dimensionen und approximativ wie diese wachsen. Aus alle dem ergibt sich, dass man die Gültigkeit des Weber'schen Gesetzes nicht bloss an den eben noch erkennbaren, sondern auch an den eben erst verkennbaren Grössenunterschieden, das will sagen, an den in den Ausgleichungsversuchen begangenen Fehlern prüfen könne.“

Nach dieser Auslassung hat es offenbar den Anschein, als ob die angeblich nach der Methode der mittleren Fehler ausgeführten Augenmaassversuche Volkmann's gar nicht nach dem Principe dieser Methode angestellt worden seien, vielmehr nur auf Ermittlung der eben verkennbaren Unterschiede ausgegangen und mithin Versuche nach der Methode der eben unmerklichen Unterschiede seien, bei denen der eben nicht mehr erkennbare Unterschied als Mittelwerth einer verhältnissmässig grossen Anzahl von Einzelbestimmungen gewonnen wurde. Indessen hören wir weiter. Volkmann bemerkt, dass wegen des Vorkommens constanter Fehler nicht einfach die mittlere Abweichung der Fehldistanz von der Normaldistanz als Maass der Unterschiedsempfindlichkeit zu betrachten sei, und äussert sich zuletzt (a. a. O. S. 120) folgendermaassen: „Um also den mittleren

Fehler zu finden, muss man zunächst die mittlere Fehldistanz suchen und den Unterschied derselben von der Fehldistanz jedes einzelnen Falles notiren. Diese nach Fechner's Terminologie reinen variablen Fehler werden ohne Rücksicht auf die Vorzeichen addirt und mit der Zahl der gegebenen Beobachtungen dividirt. Der so gefundene Werth ist der mittlere Fehler für eine Beobachtung.“

Volkman ist hiernach zweifelsohne in folgender Weise verfahren. Er änderte eine von der gegebenen Normaldistanz deutlich unterscheidbare Fehldistanz allmählich so lange ab, bis sie eben nicht mehr von der Normaldistanz unterschieden werden konnte. Diesen Versuch führte er zu oft wiederholten Malen aus. Darauf bestimmte er den mittleren Werth der in dieser Weise erhaltenen endgültigen Grössen der Fehldistanz. Die Abweichung jeder einzelnen endgültigen Einstellung der Fehldistanz von diesem Mittelwerthe bezeichnete er als den reinen variablen Fehler; und den Mittelwerth der so bestimmten reinen variablen Fehler betrachtete er als den mittleren Fehler, der als Maass der Unterschiedsempfindlichkeit dienen könne. Bezeichnen wir, wie bisher immer, die Normaldistanz mit N , die Fehldistanz mit F , den der gegebenen Normaldistanz entsprechenden Unterschiedsschwellenwerth mit S und den constanten Fehler, der bei Herstellung der Fehldistanz begangen wird, mit M , und bedenken wir ferner, dass sich der wirkliche Werth des eben unmerklichen Unterschiedes von dem Unterschiedsschwellenwerthe, dem wirklichen Werthe des eben merklichen Unterschiedes, streng genommen nur unendlich wenig unterscheiden kann, so lässt sich also kurz sagen, dass Volkman's Bestreben bei jedem einzelnen Versuche dahin ging, die Fehldistanz F gleich $N + M + S$ oder gleich $N + M - S$ zu machen. Die bei dieser Tendenz des Versuchsverfahrens in den verschiedenen Beobachtungsfällen erhaltenen Werthe von F schwankten um einen gewissen Mittelwerth herum, und Volkman betrachtet nun denjenigen Werth, um welchen die einzelnen Grössen von F von diesem Mittelwerthe im Mittel abwichen, als eine zu S proportionale Grösse. Worauf er eigentlich die Voraussetzung dieser Proportionalität stützt, ist nirgends zu erkennen. Wenn er bemerkt, dass ebenso wie die eben merklichen Unterschiede auch die eben unmerklichen Unterschiede zur Prüfung des Weber'schen Gesetzes verwandt werden könnten, so ist dies

vollkommen richtig; nur ist eben derjenige mittlere Fehler, den er experimentell zu bestimmen gesucht hat, keineswegs der Mittelwerth verschiedener Einzelbestimmungen des eben unmerklichen Unterschiedes, sondern vielmehr als die mittlere Abweichung vom Mittelwerthe des eben unmerklichen Unterschiedes zu bezeichnen; und Volkmann's Versuche sind demnach weder nach der Methode der eben unmerklichen Unterschiede noch nach derjenigen der mittleren Fehler, sondern vielmehr nach einer Methode der mittleren Abweichung vom Mittelwerthe des eben unmerklichen Unterschiedes angestellt worden, deren Zulänglichkeit und Brauchbarkeit zur Prüfung des Weber'schen Gesetzes bisher noch nicht im Mindesten nachgewiesen ist.

Die Methode der mittleren Fehler, wie wir dieselbe im vorigen Capitel erörtert haben, ist eine Methode, bei welcher man die Fehldistanz der Normaldistanz möglichst gleich zu machen sucht und demgemäss die Grösse des Unterschiedsschwellenwerthes mit von Einfluss auf die sich ergebende Grösse des mittleren Fehlers ist, und bei deren Anwendung der mittlere Werth der Fehldistanzen, wie auch Fechner meint, im Allgemeinen nur in Folge constanter Einflüsse der Zeit- und Raumlage und anderer ähnlicher Umstände grösser oder kleiner als die Normaldistanz ausfällt. Bei Volkmann's Versuchen war die Tendenz, die Fehldistanz der Normaldistanz möglichst gleich zu machen, gar nicht vorhanden, vielmehr sollte dieselbe, wenn wir von den constanten Miteinflüssen absehen, nur gleich $N+S$ oder gleich $N-S$ gemacht werden; und unter solchen Umständen konnte selbstverständlich der mittlere Werth der erhaltenen Fehldistanzen, auch wenn gar keine constanten Miteinflüsse stattfanden, unmöglich mit der Normaldistanz übereinstimmen. Inwiefern bei Volkmann's Versuchen die Grösse des Unterschiedsschwellenwerthes auf den Betrag des erhaltenen mittleren Fehlers oder vielmehr der erhaltenen mittleren Abweichung vom Mittelwerthe des eben unmerklichen Unterschiedes Einfluss ausgeübt haben könne, scheint unerfindlich.

§ 29.

Indessen überlegen wir näher, ob denn wirklich auf keinen Fall eine Beziehung zwischen dem Unterschiedsschwellenwerthe

und dem mittleren Fehler, der bei Herstellung eines eben unmerklichen Unterschiedes begangen wird, denkbar sei, und ob es denn wirklich blosser Zufall sein müsse, dass sich nach Volkmann's erwähnten Versuchsreihen dieser mittlere Fehler, die mittlere Abweichung vom Mittelwerthe des eben unmerklichen Unterschiedes, bei zunehmender Normaldistanz ganz ähnlich zu verhalten scheint, wie sich nach Volkmann's anderweiten, nach der Methode der eben merklichen Unterschiede angestellten Augenmaassversuchen der Unterschiedsschwellenwerth verhält. Sucht man in der Weise einen eben unmerklichen Unterschied zweier Distanzgrössen, einer Normaldistanz N und einer Fehldistanz F , herzustellen, dass man einen übermerklichen Unterschied allmählich verringert und, sobald derselbe nicht mehr merklich erscheint, die allmähliche Abänderung desselben beendet, so werden in Folge der zufälligen Fehlervorgänge, welche unsere Auffassung beider Distanzen beeinflussen, die Grössen, welche man in den einzelnen Beobachtungsfällen für den eben unmerklichen Unterschied erhält, mehr oder weniger von einander abweichen. Wie in § 26 bemerkt, können wir die Fiction machen, es unterliege nur die eine der beiden zu vergleichenden Distanzgrössen und zwar diejenige, welche wir bis zum Punkte der Ebenunmerklichkeit des Unterschiedes allmählich abändern, die Fehldistanz F , dem Einflusse jener Fehlervorgänge, indem sie und mithin auch ihre Differenz von der Normaldistanz N um einen gewissen resultirenden Beobachtungsfehler α grösser oder kleiner erscheine, als sie wirklich ist. Alsdann haben wir anzunehmen, dass F immer dann grösser als N erscheine, wenn die algebraische Summe von F und α , dessen Werth positiv oder negativ sein kann, grösser ist als $N + S$, hingegen F gleich N zu sein scheine, wenn jene Summe $< N + S$ und $> N - S$ ist. Wenn wir nun versuchen den übermerklichen Unterschied einer Normaldistanz und einer grösseren Fehldistanz durch allmähliche Verringerung eben unmerklich zu machen, so wird offenbar, da wir thatsächlich nicht F , sondern vielmehr $F + \alpha$ gleich $N + S$ zu machen suchen, das Maass der Uebereinstimmung, welche die verschiedenen Einstellungen der Fehldistanz zeigen, von dem Spielraume der resultirenden Beobachtungsfehler α , welche überhaupt bei Vergleichung beider Distanzen vorkommen, abhängig sein. Je kleiner im Allgemeinen der absolute Werth von α ist, desto mehr werden die verschiedenen

Einstellungen der Fehldistanz mit einander übereinstimmen; die letzteren werden beträchtliche Abweichungen unter einander zeigen, wenn der resultirende Beobachtungsfehler verhältnissmässig grosse, positive oder negative, Werthe annehmen kann. Versucht man also in der angedeuteten Weise den eben unmerklichen Unterschied zu bestimmen, so werden die in einer grossen Anzahl von Beobachtungsfällen erhaltenen Werthe dieses Unterschiedes um einen gewissen Mittelwerth herumschwanken, über den in § 21 das Nöthige bemerkt ist; die mittlere Grösse der Abweichungen von diesem Mittelwerthe wird aber von dem Spielraume der resultirenden Beobachtungsfehler α , welche überhaupt bei Auffassung der beiden zu vergleichenden Reizgrössen vorkommen, abhängig und zwar um so grösser sein, je beträchtlicher der mittlere Werth α_m dieser Fehler ist. Da nun, wie in der Anmerkung zu § 7 gesehen, dieser Mittelwerth α_m

$$= \frac{1}{h \sqrt{2} \pi}$$

ist, wenn wir das Maass der Präcision, mit welcher die Normaldistanz aufgefasst wird, mit h bezeichnen und voraussetzen, dass das Maass der Präcision, mit welcher die von N im Allgemeinen etwas verschiedene Fehldistanz aufgefasst wird, ohne merklichen Fehler $= h$ gesetzt werden könne, so ist offenbar auch der mittlere Fehler, welcher bei Herstellung des eben unmerklichen Unterschiedes von N und F begangen wird, abhängig von dem Maasse der Präcision, mit welcher die Normaldistanz aufgefasst wird, und zwar um so grösser, je geringer diese Präcision ist. Nun scheint sich, wie bereits früher erwähnt, aus den Versuchen verschiedener Forscher das Resultat zu ergeben, dass das Maass der Präcision, mit welcher ein gegebener Sinnesreiz aufgefasst wird, der diesem zugehörigen absoluten Unterschiedsempfindlichkeit mit mehr oder weniger Annäherung proportional geht. Setzen wir diese Proportionalität als hinlänglich constatirt voraus, so folgt aus dem Bisherigen, dass der mittlere Werth derjenigen Grössen, um welche die in einer grossen Anzahl von Einzelbeobachtungen erhaltenen Werthe des eben unmerklichen Zuwuchses zu einer Distanzgrösse N von ihrem Mittelwerthe abweichen, von der zu N zugehörigen absoluten Unterschiedsempfindlichkeit abhängt und zwar sich um so grösser herausstellen muss, je geringer diese Unterschiedsempfindlichkeit ist. Dass der mittlere Fehler, der bei Herstellung des eben unmerklichen Unterschiedes begangen wird,

der absoluten Unterschiedsempfindlichkeit genau reciprok sein müsse, lässt sich auf Grund blosser theoretischer Erwägungen nicht behaupten. Wenn aber die Volkmann'schen Augenmaassversuche in ihrer Gesamtheit ergeben, dass jener mittlere Fehler merklich denselben Gang nimmt wie der Unterschiedsschwellenwerth, so scheint dies, wenn die Sache auch noch genauerer Untersuchung bedarf, auf ein wenigstens annäherndes Bestehen jener Reciprocität hinzuweisen.

§ 30.

Wir finden keinen anderen Weg, auf dem man gleichfalls zu einer Erklärung des aus Volkmann's Augenmaassversuchen sich ergebenden analogen Verhaltens des Unterschiedsschwellenwerthes und der mittleren Abweichung vom Mittelwerthe des eben unmerklichen Unterschiedes gelangen könnte. Diese mittlere Abweichung hängt ab von dem Mittelwerthe der resultirenden Beobachtungsfehler; dieser Mittelwerth ist dem Präcisionsmaasse h reciprok; ist nun letzteres der absoluten Unterschiedsempfindlichkeit annähernd proportional, so muss auch der mittlere Fehler, der bei Herstellung des eben unmerklichen Unterschiedes begangen wird, von der Unterschiedsempfindlichkeit abhängig sein und zwar um so beträchtlicher gefunden werden, je grösser der Unterschiedsschwellenwerth ist. Es dürften mithin die Augenmaassversuche Volkmann's eine Bestätigung des merkwürdigen Resultates der Fechner'schen Gewichtsversuche enthalten, dass die absolute Unterschiedsempfindlichkeit sich analog verhalte wie das Maass der Präcision, mit welcher ein gegebener Sinnesreiz aufgefasst wird, oder dieses analoge Verhalten wenigstens dann bestehe, wenn alle anderen Versuchs-umstände unverändert bleiben und nur die absolute Reizgrösse variirt wird; und eben hierin dürfte die Hauptbedeutung jener Versuche Volkmann's liegen.

Was von der mittleren Abweichung vom Mittelwerthe des eben unmerklichen Unterschiedes gilt, muss; wie sich leicht erkennen lässt, auch von der mittleren Abweichung vom Mittelwerthe des eben merklichen Unterschiedes gelten; auch diese muss, falls jenes Präcisionsmaass ein ähnliches Verhalten zeigt wie die absolute Unterschiedsempfindlichkeit, bei wachsender absoluter Reizstärke einen ähnlichen Gang nehmen wie der

Unterschiedsschwellenwerth; und diese Schlussfolgerung scheint in der That auch durch die im nächsten Abschnitte zu besprechenden Versuche, die Masson bei instantaner, elektrischer Beleuchtung rotirender Scheiben anstellte, bestätigt zu werden. Ferner bleibt es sich ganz gleich, ob die Fehldistanz, deren deutlich merkbarer Unterschied von der Normaldistanz eben unmerklich gemacht werden soll, grösser oder kleiner als N ist, ob also F Anfangs $> N + S$ ist und nun, von den constanten Fehlern abgesehen, $= N + S$ gemacht werden soll, oder Anfangs $< N - S$ ist und allmählich so lange vergrössert wird, bis es $= N - S$ ist. Nur muss man während einer und derselben Versuchsreihe immer dasselbe Verfahren beibehalten; man darf also während einer und derselben Versuchsreihe nicht ganz beliebig das eine Mal eine Fehldistanz, die deutlich grösser als N ist, und das andere Mal eine solche, die deutlich kleiner als N ist, bis zum Punkte der Ebenunmerklichkeit des Unterschiedes abändern. Das Analoge gilt, wenn man die mittlere Abweichung vom Mittelwerthe des eben merklichen Unterschiedes zu bestimmen sucht. Dass bei Volkmann's Augenmaassversuchen diese Regel in der Hauptsache befolgt worden sei, schliessen wir insbesondere auch daraus, dass bei diesen Versuchsreihen, wie wenigstens aus den darauf bezüglichen Mittheilungen Fechner's (Ps. I, S. 215, 221 f.) hervorgeht, das Verhältniss des quadratischen mittleren Fehlers zu dem sogenannten einfachen

mittleren Fehler annähernd $= \sqrt{\frac{\pi}{2}}$ war, mithin für die Ver-

theilung der einzelnen begangenen Fehler höchstwahrscheinlich das bekannte, Gauss'sche Fehlergesetz mit merklicher Annäherung galt. Bei Gültigkeit dieses Fehlergesetzes können sich die einzelnen Grössen der Fehldistanz gewissermaassen nur um einen einzigen Werth symmetrisch herumgeschaart haben; sie müssten sich aber gewissermaassen um 2, nicht unbeträchtlich verschiedene, Werthe herumgeschaart haben, wenn Volkmann und dessen Mitbeobachter während einer und derselben Versuchsreihe die Fehldistanz theils gleich $N + S$ und theils gleich $N - S$ zu machen versucht hätten. —

Fassen wir das in diesem und dem vorigen Capitel Gesagte kurz zusammen, so haben wir also zwei wesentlich verschiedene Methoden zu unterscheiden, die beide auf Bestimmung eines mittleren Fehlers ausgehen. Sehen wir von der Möglichkeit des

Vorkommens constanter Fehler ab, so lässt sich kurz sagen, dass die eine beider Methoden, die sich schlechthin als die der mittleren Fehler bezeichnen lässt, den mittleren Werth derjenigen Fehler zu bestimmen sucht, die man begeht, wenn man eine Fehldistanz einer gegebenen Normaldistanz wirklich gleich zu machen sucht. Der hierbei sich herausstellende mittlere Fehler hängt von der Grösse des Unterschiedsschwellenwerthes, dem Spielraume der zufälligen Fehlervorgänge, welche unsere Auffassung beider Distanzen beeinflussen, der Unsicherheit der Hand, der Genauigkeit, mit welcher man sich früherer Einstellungen zu erinnern und dieselben zu erneuern vermag*), u. dergl. m. ab und darf, so lange eine solche Voraussetzung nicht auf experimentellem Wege bestätigt ist, nicht schlechthin dem Unterschiedsschwellenwerthe proportional gesetzt werden. Die zweite Methode geht darauf aus, den mittleren Betrag derjenigen Grössen zu bestimmen, um welche die in einer grossen Zahl von Beobachtungsfällen erhaltenen Werthe des eben merklichen oder des eben unmerklichen Unterschiedes von ihrem Mittelwerthe abweichen. Dass der mittels dieser Methode erhaltene mittlere Fehler bei wachsender absoluter Reizstärke und sonst unverändert bleibenden Versuchsumständen einen ähnlichen Gang nehme wie der Unterschiedsschwellenwerth, ist eine nothwendige Folge der durch Fechner's Gewichtsversuche in gewissem Maasse bestätigten Voraussetzung, dass bei zunehmender absoluter Reizstärke und sonst gleich bleibenden Versuchsbedingungen das Maass der Präcision, mit welcher ein Sinnesreiz aufgefasst werde, der dem letzteren zugehörigen absoluten Unterschiedsempfindlichkeit proportional gehe. Da jedoch ein allgemeines Bestehen dieser Proportionalität noch nicht nachgewiesen ist und ein ähnlicher Gang noch kein proportionaler Gang ist, so dürfen die Resultate, die man mittels dieser Methode der mittleren Abweichung vom Mittelwerthe des eben merklichen oder des eben unmerklichen Unterschiedes erhalten hat, wenigstens zur Zeit zu einer näheren Prüfung des Weber'schen Gesetzes nicht verwandt werden. Nur insofern, als sie die Voraussetzung jener Proportionalität des Präcisionsmaasses und der absoluten Unterschiedsempfindlichkeit einigermaassen zu bestätigen scheinen, besitzen die mittels dieser Methode erhaltenen Resultate zur

*) Vergl. hierzu Bohn in Pogg. Annal., Ergänzungsband VI, S. 397.

Zeit einen gewissen Werth. Künftigen genauen Experimentaluntersuchungen muss es überlassen bleiben, uns näher über die Beziehung aufzuklären, in welcher der Unterschiedsschwellenwerth zur mittleren Abweichung vom Mittelwerthe des eben merklichen oder des eben unmerklichen Unterschiedes steht.

8. Capitel.

Die Methode der übermerklichen Unterschiede.

§ 31.

Plateau*) hat das Verdienst, zuerst nachdrücklich hervorgehoben zu haben, dass wir nicht bloss darüber urtheilen können, welche von 2 gleichartigen Empfindungen die intensivere sei, und ob ihre Differenz gering oder bedeutend sei, sondern auch, wenigstens unter gewissen Umständen, die Merklichkeiten gegebener, übermerklicher Empfindungsunterschiede betreffs ihrer Gleichheit oder Ungleichheit mit ziemlicher Sicherheit mit einander vergleichen können. Er macht zunächst auf die Thatsache aufmerksam, dass man gewisse graue Objecte als hellgrau, andere als dunkelgrau bezeichnet. Offenbar wolle man mit ersterer Bezeichnung sagen, dass das wahrgenommene Grau mit dem hellen Weiss einen weniger merkbaren Unterschied bilde als mit dem dunklen Schwarz, während die zweite Bezeichnung andeute, dass das betreffende Grau unserer Auffassung nach dem Schwarz näher stehe als dem Weiss, also von letzterem merklicher verschieden sei als von ersterem. Es erhebt sich nun die für die Anwendbarkeit der Methode der übermerklichen Unterschiede wichtige Frage, ob sich mit einiger Sicherheit dasjenige Grau bestimmen lasse, welches mit dem reinen Weiss und dem reinen Schwarz**) in ganz gleichem Maasse contrastirt, also mit

*) M. J. Plateau „Sur la mesure des sensations physiques“ etc. im Bulletin de l'Acad. Royale de Belgique, T. XXXIII (1872), S. 376 ff. und ebendasselbst T. XXXIV, S. 250 ff.

**) Ob sich wirklich eine Nüance des Weiss, bez. Schwarz, herstellen lässt, welche streng genommen als reines Weiss, bez. reines Schwarz, bezeichnet werden muss, wollen wir hier dahin gestellt sein lassen.

beiden Helligkeiten Unterschiede von ganz gleicher Merkbarkeit bildet. Zur Beantwortung dieser Frage kann man sich nach Plateau's Angabe folgenden Verfahrens bedienen. Man legt 3 gleich grosse Papierquadrate, das eine von reinem Weiss, das andere von sehr intensivem Schwarz und das dritte von einem mittelhellen Grau, in der Weise an einander, dass das graue Quadrat sich zwischen den beiden anderen befindet, und verändert nun die Nüance des grauen Quadrates so lange, bis die beiden Contraste, die es mit dem weissen und dem schwarzen Quadrate bildet, gleich gross erscheinen. Plateau forderte 8 Personen, die sich mit Malerei beschäftigten, einzeln auf, dass sie ihm in der soeben angegebenen Weise und zwar, indem sie das System von Quadraten dem einfachen Tageslichte aussetzten, ein Grau herstellten, das genau in der Mitte zwischen reinem Schwarz und reinem Weiss zu stehen scheine. Die von den 8 Personen gelieferten Nüancen des mittelhellen Grau waren fast dieselben. Plateau schliesst hieraus mit Recht, dass die Vergleichung zweier Helligkeitscontraste unter den angegebenen Versuchsumständen eine ziemlich sichere und genaue sein müsse, und schlägt weiterhin vor, in der angegebenen Weise auch dasjenige Grau zu bestimmen, welches mit dem erhaltenen mittelhellen Grau und dem reinen Schwarz in ganz gleichem Maasse zu contrastiren scheine, desgleichen diejenige Nüance des Grau zu ermitteln, welche unserer Auffassung nach genau zwischen jenem mittelhellen Grau und dem reinen Weiss inmitten stehe; die Zwischenräume innerhalb der so erhaltenen Stufenleiter von 5 verschiedenen Helligkeiten werde man wieder durch andere Nüancen ausfüllen können, deren jede mit den beiden benachbarten Helligkeiten gleich sehr contrastire, u. s. f. Auf solche Weise erhält man eine Stufenleiter verschiedener Helligkeiten, die sich nach Plateau's hier nicht zu discutirender Ansicht dazu benutzen lässt, das Intensitätsverhältniss zweier beliebiger, gegebener Gesichtsempfindungen annähernd zu bestimmen.

Eine ausgedehntere Anwendung fand die von Plateau vorläufig erprobte Methode bei den Versuchen, welche Delboeuf zunächst behufs Prüfung des Weber'schen Gesetzes anstellte. Delboeuf bediente sich nach dem Vorschlage Plateau's des Principes der rotirenden Scheiben. Um die Ungenauigkeit zu vermeiden, die man begeht, wenn man, wie meist geschieht, die geschwärzten Sektoren der Rotationsscheibe als ganz lichtlos

betrachtet, ersetzte Delboeuf, wie auch schon Plateau als wünschenswerth bezeichnet hatte, die schwarzen Sektoren der Rotationsscheibe durch einen nahezu absolut dunklen Raum, vor dem er weisse Sektoren mit sehr grosser Geschwindigkeit sich bewegen liess. Auf solche Weise stellte er 3 an einander angrenzende Zonen von verschiedenen, genau messbaren Helligkeiten her, von denen die äussere die lichtschwächste, die innere hingegen die hellste war. Das Helligkeitsverhältniss der inneren Zone zu den beiden anderen Zonen konnte verändert werden, ohne dass die beiden letzteren in ihrem Helligkeitsverhältnisse zu einander eine Aenderung erfuhren. Es liess sich daher durch Tatonnement diejenige Helligkeit der inneren Zone herstellen, welche sich von der Lichtstärke der mittleren Zone in demselben Grade zu unterscheiden schien, als die mittlere Zone mit der Helligkeit der äusseren Zone contrastirte. War die Gleichheit der Contraste erreicht, so liess sich dadurch, dass man die Winkelbreiten der Sektoren der verschiedenen Zonen bestimmte, leicht constatiren, ob, bez. mit welcher Annäherung, das Weber'sche Gesetz für das Gebiet der beobachteten 3 Helligkeiten Gültigkeit besitze; und durch Variirung der angewandten Beleuchtungsintensität liess sich über das Verhalten, welches die Unterschiedsempfindlichkeit innerhalb der verschiedenen Gebiete der Helligkeitsscala zeigt, Auskunft erhalten. Auf das Maass der Sicherheit, mit welcher bei Delboeuf's Versuchen über die Gleichheit, bez. Ungleichheit, der beiden Helligkeitscontraste geurtheilt wurde, und das Maass der Uebereinstimmung, welche die bei gleichen Versuchsumständen in verschiedenen Beobachtungsfällen erhaltenen Helligkeitswerthe der inneren Zone zeigten, kommen wir weiterhin zu sprechen. Zu bemerken ist, dass Delboeuf sich nicht darauf beschränkte, in der angegebenen Weise bloss 3 an einander angrenzende Lichtflächen herzustellen, sondern auf Grund einer von ihm abgeleiteten Formel für die Beziehung zwischen Reizstärke und Empfindungsintensität mittels rotirender Sektoren eine grössere Anzahl und gewissermaassen eine ganze Stufenleiter an einander angrenzender Lichtflächen herstellte, deren jede mit den beiden benachbarten Flächen in gleichem Maasse zu contrastiren schien, und dann dieses System abgestufter Helligkeiten noch ausserdem verschiedenen Beleuchtungsstärken aussetzte. Nach Delboeuf hat sich in ähnlicher Weise auch Breton der Methode der übermerklichen

Unterschiede bedient; wir gehen auf seine Versuche, die betreffs der Anwendbarkeit dieser Methode nichts Neues ergeben, in § 58 näher ein.

§ 32.

Versuchen wir nun kurz uns über die Anwendbarkeit und Zuverlässigkeit Rechenschaft zu geben, welche die Methode der übermerklichen Unterschiede nach den Ergebnissen der im vorstehenden Paragraphen beschriebenen Versuche besitzt. Dass diese Methode im Gebiete des Gesichtssinnes bei gewissen Versuchsumständen anwendbar ist, steht nach den vorliegenden Versuchsergebnissen fest; aber es ist wohl zu berücksichtigen, dass bei den Versuchen von Plateau, Delboeuf und Breton immer nur die gleichzeitig gegebenen Helligkeitsunterschiede an einander angrenzender Lichtflächen mit einander verglichen wurden. Inwieweit die Methode auch noch dann brauchbar ist, wenn die zu vergleichenden Helligkeitscontraste nicht gleichzeitig gegeben werden, oder wenn die einzelnen Componenten dieser Lichtunterschiede nicht an einander angrenzen oder gar sämtlich nur successiv gegeben werden, lässt sich zur Zeit nicht entscheiden. Ganz unbekannt bleibt vollends, ob die Anwendung dieser Methode auch innerhalb anderer Sinnesgebiete als innerhalb des Gebietes des Gesichtssinnes noch irgendwie zulängliche Resultate zu ergeben vermag. Es erhellt, dass man zur Rechtfertigung der von uns in § 18 nur wenig zulänglich befundenen Versuche, welche angeblich nach der Methode der eben merklichen Unterschiede angestellt wurden, thatsächlich aber auf eine Vergleichung successiv erhaltener, übermerklicher Unterschiede hinaus kamen, sich nicht auf die Resultate der im vorigen Paragraphen erwähnten Versuche berufen darf. Mit diesen dürfen jene Versuche deshalb nicht in eine Linie gestellt werden, weil es sich bei jenen Versuchen Fechner's, Masson's u. A. eben um eine Vergleichung successiv gegebener Lichtunterschiede handelte und demnach selbstverständlich ein sorgfältiges, bedächtiges Abwägen der beiden Lichtunterschiede gegen einander nicht stattfand. Auch auf die zwischen Sterngrösse und Sternintensität bestehende, bekannte Beziehung, welche früher die einzige empirische Basis für die Behauptung bildete, dass die Beurtheilung der Gleichheit oder Ungleichheit übermerklicher Hellig-

keitsunterschiede unter gewissen Bedingungen mit einiger Sicherheit möglich sei, darf man sich nicht berufen. Denn bei Einordnung der Gestirne in die verschiedenen Grössenklassen handelte es sich zum Theil um eine Vergleichung gleichzeitig im Gesichtsfelde gegebener Lichtunterschiede; ferner zeigen diese Grössenbestimmungen bekanntermaassen keineswegs eine ganz befriedigende Uebereinstimmung unter einander; auch lässt sich nicht sagen, inwieweit die Vergleichung der Sternintensitäten durch die Wahrnehmung der verschiedenen scheinbaren Ausdehnung der Gestirne, durch das successive Sichtbarwerden derselben während der Dämmerung u. dergl. m. mit beeinflusst worden ist.

Was die Sicherheit betrifft, mit welcher bei Delboeuf's werthvollen Versuchsreihen über die Gleichheit, bez. Ungleichheit, der gegebenen Helligkeitscontraste geurtheilt wurde, so bemerkt Delboeuf, dass die Versuchsperson im Allgemeinen sich mit Bestimmtheit und ohne Zögern darüber entscheide, ob die innere Lichtzone mit der mittleren in gleichem Maasse wie diese mit der äusseren Zone contrastire oder nicht. Wenn jedoch der Apparat längere Zeit betrachtet werde, so müsse zuletzt die Helligkeit der inneren, intensivsten Zone noch etwas verstärkt werden. Auch komme es zuweilen vor, dass eine Nüance der inneren Zone, die Anfangs zu intensiv erscheine, den Augenblick darauf zu lichtschwach befunden werde. Fälle letzterer Art haben ihren Grund in den zufälligen Fehlervorgängen, welche selbstverständlich auch bei Anwendung der Methode der übermerklichen Unterschiede die Auffassung der einzelnen zu vergleichenden Sinneseindrücke beeinflussen. Beachtenswerth ist Folgendes. Wir haben in § 21 zu zeigen versucht, dass man im Allgemeinen einen zu grossen, bez. zu kleinen, Werth für den Unterschiedsschwellenwerth erhalten muss, wenn man denselben in der Weise zu bestimmen sucht, dass man einen übermerklichen Unterschied allmählich so lange verringert, bis er eben unmerklich ist, oder einen untermerklichen Unterschied allmählich bis zum Punkte der Ebenmerklichkeit erhöht. Nun suchte Delboeuf diejenige Helligkeit der inneren Zone, bei welcher die Gleichheit der beiden Contraste erreicht erschien, in der Weise zu ermitteln, dass er die Lichtstärke dieser Zone zunächst beträchtlich zu gross oder beträchtlich zu gering nahm und dann allmählich verminderte, bez. erhöhte, bis die Versuchsperson die

beiden Contraste für gleich erklärte. Ist daher der in § 21 von uns geltend gemachte Gesichtspunkt triftig, so musste, wie leicht zu erkennen, Delboeuf die gesuchte Intensität der inneren Lichtzone das eine Mal zu gross und das andere Mal zu klein erhalten, je nachdem er dieselbe durch Verringerung einer zu hohen oder durch Vergrösserung einer zu geringen Lichtstärke erhielt. Und dies war in der That der Fall. Die gesuchte Helligkeit der inneren Zone fiel wirklich im Allgemeinen zu gross oder zu klein aus (vergl. Delboeuf, a. a. O. S. 73 f.), je nachdem sich Delboeuf bei Bestimmung derselben dieses oder jenes Verfahrens bediente, und Delboeuf wechselte daher mit beiden Verfahrungsweisen ab und zog aus den so erhaltenen Einzelwerthen das Mittel. Als ferner die 3 an einander angrenzenden Lichtzonen mit bestimmten Helligkeitsverhältnissen zu einander gegeben waren und nun Delboeuf denjenigen Abstand einer Kerze zu bestimmen suchte, bei welchem die von den 3 Lichtflächen gebildeten 2 Helligkeitscontraste gleich intensiv erschienen, so fand er (a. a. O. S. 88 f.), dass dieser Abstand der Kerze zu gross oder zu klein erhalten werde, je nachdem man denselben durch allmähliche Verringerung einer grösseren oder durch allmähliche Vergrösserung einer kleineren Entfernung der Kerze zu ermitteln suche. Auch dieses Ergebniss erklärt sich aus dem in § 21 von uns geltend gemachten Gesichtspunkte und zeigt die Berechtigung unseres Vorschlages, die Methode der eben merklichen Unterschiede nie mehr isolirt anzuwenden, sondern immer in der angedeuteten Weise mit der Methode der eben unmerklichen Unterschiede zu einer Methode der kleinsten Unterschiede zu combiniren.

§ 33.

Eine Frage, deren Beantwortung für die Anwendung der Methode der übermerklichen Unterschiede grosse Wichtigkeit besitzt, ist die, ob die Sicherheit und Genauigkeit, mit der man über die Gleichheit, bez. Ungleichheit, zweier Helligkeitscontraste urtheilt, sich verringert, falls der Grad der Uebermerklichkeit beider Contraste grösser genommen wird. Obwohl Delboeuf selbst auf diese Frage gar nicht eingeht, so ergeben doch, wie es scheint, die Versuchsergebnisse desselben bereits die Antwort auf diese Frage. Tabelle I wird dies hinlänglich darthun.

Tabelle I.

Versuchsnummer	Werthe von δ	Werthe von δ'	Experimentell erhaltene Werthe von δ''		Mittlere Fehler		
			der 1. Versuchsreihe Delboeuf's	der 3. Versuchsreihe desselben	der 1. Versuchsreihe	der 3. Versuchsreihe	beider Versuchsreihen
1	9	47	237,6	243,4	37,3	14,3	25,8
2	13	27	54,4	55,2	0,9	3,4	2,2
3	13	36	98,8	94,8	6,6	1,4	4
4	13	41	129,2	123,4	13,4	5,3	9,4
5	13	56	247,8	235,8	27,2	13,1	20,2
6	21	60	169,4	157	7,3	6,8	7,1
7	21	64	200	175,8	8	17,9	13
8	22	36	57,6	56,8	2,1	1,8	2
9	22	51	119,8	107,4	11,8	7,4	9,6
10	22	58	153,2	139,2	5	15,9	10,5
11	22	66	194,8	183,2	27	9,4	18,2
12	43	64	97,4	94	3,9	5,2	4,6
13	43	72	130	119,8	12,4	4,6	8,5
14	43	87	176,8	168,8	16,6	9,3	13

Mit δ und δ' bezeichnen wir in dieser Tabelle die Winkelbreiten der Sectoren der äusseren, lichtschwächsten und der mittleren Zone, zu denen Delboeuf diejenige Winkelbreite δ'' der Sectoren der inneren Zone zu finden suchte, bei welcher der Contrast der äusseren und der mittleren Zone demjenigen der inneren und der mittleren Zone gleich erschien. Die angegebenen Werthe von δ'' sind Mittelwerthe aus je 5 Einzelbestimmungen; sie weichen hie und da von den bei Delboeuf (a. a. O. S. 58 und 62) angegebenen Mittelwerthen etwas ab; schon Fechner (vergl. Jenaer Literaturzeitung von 1874, Nr. 28) fand, dass sich in die Versuchstabellen Delboeuf's leider eine nicht unbedeutende Anzahl von Rechnungsversehen eingeschlichen hat. Die als 3. Versuchsreihe Delboeuf's bezeichnete Versuchsreihe ist mit der von Delboeuf a. a. O. S. 62 mitgetheilten Versuchsreihe identisch; doch sind hier jedes Mal nur die 5 ersten der daselbst angeführten 7 Werthe von δ'' benutzt, da die letzten 2 Werthe, höchstwahrscheinlich wegen veränderter Versuchsumstände, nicht unbedeutend grösser ausfielen als die übrigen. Als mittleren Fehler der 1., bez. 3., Versuchsreihe Delboeuf's

bezeichnen wir den mittleren Werth derjenigen Grössen, um welche die innerhalb der betreffenden Versuchsreihe erhaltenen 5 Einzelwerthe von δ'' von ihrem in der Tabelle angeführten Mittelwerthe abweichen, und als mittleren Fehler beider Versuchsreihen bezeichnen wir das Mittel aus den beiden entsprechenden mittleren Fehlern der 1. und 3. Versuchsreihe. Beiläufig bemerken wir noch, dass erstere Versuchsreihe bei grauem Tageshimmel, hingegen letztere Abends bei Kerzenbeleuchtung ausgeführt wurde.

Fasst man nun die in der letzten Längscolumne dieser Tabelle angeführten Werthe des mittleren Fehlers in's Auge, so bemerkt man sofort, dass, wenn die Winkelbreite δ der Sectoren der äusseren Zone constant ($= 13, 21, 22$ oder 43) bleibt und der Werth von δ' und mithin auch von δ'' zunimmt, regelmässig auch der mittlere Fehler sich vergrössert. Da die Beleuchtungsstärke während einer und derselben Versuchsreihe annähernd constant blieb, so scheint dies zunächst darauf hinzuweisen, dass die Genauigkeit der Vergleichung zweier gegebener Helligkeitscontraste um so geringer sei, je grösser und merklicher beide Contraste seien. Indessen ähnlich wie nach Volkmann's früher besprochenen Augenmaassversuchen der mittlere Fehler, welcher bei Herstellung des eben unmerklichen oder eben merklichen Unterschiedes begangen wird, bei wachsender absoluter Reizstärke in analoger Weise wie der Unterschiedsschwellenwerth zunimmt, so kann möglicher Weise auch die erwähnte Zunahme des mittleren Fehlers obiger Tabelle ihren Grund lediglich darin haben, dass gleichzeitig mit den Verhältnissen $\frac{\delta'}{\delta}$

und $\frac{\delta''}{\delta}$ auch die absoluten Grössen von δ' und δ'' , die absoluten Helligkeiten der mittleren und der inneren Zone, wachsen. Diese Vermuthung scheint dadurch bestätigt zu werden, dass der mittlere Fehler obiger Tabelle in denjenigen Fällen, wo δ' fast den gleichen Werth besitzt, nur wenig verschieden ausgefallen ist, auch wenn die Verhältnisse $\frac{\delta'}{\delta}$ und $\frac{\delta''}{\delta}$ in den betreffenden Fällen beträchtlich verschiedene waren. So stimmt z. B. der zu Versuchsnummer 2 zugehörige mittlere Fehler beider Versuchsreihen, welcher erhalten wurde, als $\frac{\delta'}{\delta} = \frac{27}{13}$ und $\frac{\delta''}{\delta}$

ungefähr $= \frac{55}{27}$ war, mit dem entsprechenden Fehler von Versuchsnummer 8 merklich überein, obwohl die zu letzterer Versuchsnummer zugehörigen Verhältnisse $\frac{\delta}{\delta}$ und $\frac{\delta'}{\delta}$ wesentlich andere, nämlich $= \frac{36}{22}$, bez. $= \frac{57}{36}$, und eben nur die absoluten Werthe von δ' für beide Versuchsnummern fast dieselben sind. Das entsprechende Resultat erhält man, wenn man die mittleren Fehler (beider Versuchsreihen), welche Versuchsnummer 3 und 12 entsprechen, mit einander vergleicht, desgleichen, wenn man die Versuchsangaben von Versuchsnummer 4, 9 und 13 in's Auge fasst. Auch eine Vergleichung der Resultate der übrigen Versuchsnummern ergibt, dass der Grund der Zunahme, welche der mittlere Fehler obiger Tabelle bei constantem δ und wachsenden Werthen von δ und δ' zeigt, nicht darin zu suchen ist, dass die Vergleichung zweier Helligkeitscontraste um so ungenauer und unsicherer ausfalle, je grösser und deutlicher dieselben seien, sondern jene Zunahme des mittleren Fehlers in der Hauptsache vielmehr darin begründet ist, dass derselbe in einer gewissen Abhängigkeit zu den absoluten Intensitäten der mit einander verglichenen, Contraste bildenden Helligkeiten steht.*)

§ 34.

Eine Erklärung für diese Abhängigkeit des mittleren Fehlers von der absoluten Lichtstärke lässt sich leicht finden. In Folge der Mitwirkung der zufälligen Fehlervorgänge musste nämlich bei den in Rede stehenden Versuchen Delboeuf's jede der 3 verglichenen Lichtintensitäten um einen zufälligen Beobachtungsfehler zu gross oder zu klein erscheinen; und da nun diese die Vergleichung der 3 Lichtflächen mit beeinflussenden Beobachtungsfehler in verschiedenen Fällen verschieden gross ausfielen und in verschiedener Richtung begangen wurden, so konnten nothwen-

*) Dass der zu Versuchsnummer 1 zugehörige mittlere Fehler der 1. Versuchsreihe verhältnissmässig zu gross ausgefallen ist, liegt, wie auch Delboeuf a. a. O. S. 60 bemerkt, daran, dass bei Beginn der 1. Versuchsreihe die bald darauf erlangte Aufmerksamkeit und Uebung im Vergleichen von Helligkeitscontrasten noch nicht vorhanden war.

diger Weise auch bei gleich bleibender Aufmerksamkeit und unveränderten äusseren Versuchsumständen diejenigen Intensitäten, welche Delboeuf der inneren, lichtstärksten Zone in verschiedenen Beobachtungsfällen geben musste, um die anscheinende Gleichheit der beiden Helligkeitscontraste zu erreichen, nicht ganz mit einander übereinstimmen. Nehmen wir nun an, dass das dem mittleren Werthe der zufälligen Beobachtungsfehler reciproke Maass der Präcision, mit welcher eine Lichtintensität aufgefasst wird, bei Steigerung letzterer einen ähnlichen Gang nehme wie die absolute Unterschiedsempfindlichkeit, so musste nothwendig bei Delboeuf's Versuchen der mittlere Fehler, welcher bei Herstellung der inneren Lichtfläche begangen wurde, d. h. der mittlere Werth derjenigen Grössen, um welche die der inneren Lichtzone in verschiedenen Beobachtungsfällen ertheilten Helligkeiten von ihrem Mittelwerthe abwichen, um so grösser ausfallen, je beträchtlicher im Allgemeinen die Intensitäten der 3 verglichenen Lichtflächen waren. Und eben dies ergiebt sich aus obiger Versuchstabelle;*) und man erkennt leicht, inwiefern auch die Versuchsergebnisse Delboeuf's zum Theil in näherer Beziehung zu dem proportionalen oder wenigstens analogen Verhalten stehen, welches nach Fechner's Gewichtsversuchen, Volkman's Augenmaassversuchen und Masson's elektrischen Lichtversuchen das Präcisionsmaass und die absolute Unterschiedsempfindlichkeit bei wachsender absoluter Reizstärke zeigen.

§ 35.

Der Umstand, dass die Genauigkeit und Sicherheit der Vergleichung übermerklicher Helligkeitsunterschiede von den absoluten Intensitäten der gegebenen Helligkeiten, gar nicht aber oder verhältnissmässig nur wenig von dem Grade der

*) Nimmt das Präcisionsmaass ähnlich wie die absolute Unterschiedsempfindlichkeit bei wachsender Reizstärke ab, so musste bei Delboeuf's Versuchen der bei Auffassung der inneren, intensivsten Lichtfläche begangene zufällige Beobachtungsfehler im Allgemeinen beträchtlich grösser ausfallen als der bei Auffassung der mittleren Helligkeit begangene und dieser wiederum grösser als der bei Auffassung der äusseren Lichtzone begangene Beobachtungsfehler. Hieraus erklärt sich, dass nach obiger Tabelle der mittlere Fehler hauptsächlich von dem Werthe δ' abhängig erscheint.

Uebermerklichkeit der gegebenen Unterschiede abhängig ist, muss bei Anwendung der Methode der übermerklichen Unterschiede wohl berücksichtigt werden. Denn hiernach wird die grössere oder geringere Ungenauigkeit, welche allen nach dieser Methode angestellten Versuchen anhaftet, im Allgemeinen um so weniger in Betracht kommen, je beträchtlicher der Grad der Uebermerklichkeit der mit einander zu vergleichenden Unterschiede genommen wird. Will man sich daher in möglichst einfacher Weise einen Ueberblick über den Gang verschaffen, welchen die Unterschiedsempfindlichkeit bei wachsender Lichtstärke nimmt, so wird es sich empfehlen, nach dem Vorgange Delboeuf's eine Stufenleiter an einander angrenzender, beträchtlich verschiedener Helligkeiten herzustellen, von denen jede mit ihren beiden Nachbarhelligkeiten in gleich merklichem Maasse contrastirt. Derjenige Vorzug, welchen Fechner der Methode der eben merklichen Unterschiede nachrühmt, dass sie nämlich verhältnissmässig am schnellsten zum Ziele führe, scheint in Wirklichkeit der Methode der übermerklichen Unterschiede zuzusprechen zu sein. Ausserdem besteht ein besonderer Vorzug dieser Methode noch darin, dass man bei Anwendung derselben sicher geht, dass die Zulänglichkeit der Versuchsergebnisse nicht durch den Einfluss der sogenannten Adaptation der Netzhaut beeinträchtigt wird (vergl. § 66). Der Hauptmangel*) der Methode der übermerklichen Unterschiede besteht darin, dass sie auf keinen Fall zu so mannigfaltigen Zwecken verwandt werden kann wie die Methode der kleinsten Unterschiede und die der r. und f. Fälle. Ist ein Unterschied von bestimmter Uebermerklichkeit gegeben, so lässt sich eben nur dann unter veränderten Versuchsumständen ein Unterschied von ganz derselben Uebermerklichkeit herstellen, wenn man den neu herzustellenden Unterschied fortwährend mit dem ursprünglich gegebenen vergleichen und so lange abändern kann, bis er gleich merklich erscheint wie jener. Und eben eine solche ungehinderte Vergleichung unter verschiedenen Versuchsumständen gegebener Reizunterschiede ist oftmals nicht möglich; so lässt sich z. B. der Einfluss, welchen die Ermüdung des Sinnesorganes auf die zu einer bestimmten absoluten Reizstärke zugehörige Unter-

*) Betreffs des störenden Einflusses, welchen bei Anwendung dieser Methode die Contrastwirkungen ausüben, vergl. Delboeuf, a. a. O., S. 71 f.

schiedsempfindlichkeit ausübt, mittels der Methode der übermerklichen Unterschiede nicht bestimmen, weil eben das Stadium der Ermüdung des Sinnesorganes von demjenigen der vollen Empfänglichkeit desselben durch einen gewissen Zeitraum, während dessen das Organ abgestumpft wird, getrennt sein muss und hierdurch eine genaue Vergleichung von Reizunterschieden, welche in beiden Stadien der Erregbarkeit gegeben werden, unmöglich wird. Ganz unmöglich ist es ferner, mittels der in Rede stehenden Methode die Unterschiedsempfindlichkeiten, welche verschiedene Individuen unter bestimmten Versuchsumständen besitzen, mit einander zu vergleichen. Denn man hat, wie bereits in der Einleitung bemerkt, durchaus keine Gewähr dafür, dass derjenige Grad der Uebermerklichkeit, welchen der eine Beobachter bei seinen Versuchen zu Grunde legt, auch von den anderen benutzt worden sei. Versucht man endlich auf Grund der Resultate, welche man bei Anwendung der Methode der übermerklichen Unterschiede erhalten hat, den Gang, welchen die Unterschiedsempfindlichkeit bei wachsender absoluter Lichtstärke nimmt, durch eine Formel auszudrücken, so wird auch diese Formel unter Umständen je nach dem Grade der Uebermerklichkeit, den man bei den betreffenden Versuchen zu Grunde legt, etwas verschieden ausfallen. Unter solchen Umständen darf der Methode der übermerklichen Unterschiede, von welcher sehr zweifelhaft ist, ob sie ausserhalb des Gebietes des Gesichtssinnes Anwendung finden darf, keineswegs der gleiche Werth zugeschrieben werden wie der Methode der kleinsten Unterschiede und derjenigen der r. und f. Fälle. Jene Methode ist allerdings sehr geeignet, uns auf verhältnissmässig leichte Weise einen Einblick in das Abhängigkeitsverhältniss zu verschaffen, in welchem die Unterschiedsempfindlichkeit bei gewissen Versuchsumständen zur absoluten Reizstärke steht; aber zu mehr als vorläufigen, zu wirklich eingehenden, allgemeineren und abschliessenden Untersuchungen des Verhaltens der Unterschiedsempfindlichkeit ist sie nicht verwendbar. Hiermit soll jedoch das Verdienst, das sich nach Obigem Plateau und Delboeuf erworben haben, nicht geschmälert werden; selbst von dem Maasse der Anwendbarkeit der Methode der übermerklichen Unterschiede ganz abgesehen, ist man beiden Forschern zu Dank verpflichtet, weil sie zuerst darauf aufmerksam gemacht haben, dass wir wirklich die Fähigkeit besitzen, übermerkliche Intensitätsunterschiede gegebener Empfindungen

unter gewissen Umständen mit ziemlicher Genauigkeit mit einander zu vergleichen.

Zweiter Abschnitt.

Die Thatsachen des Weber'schen Gesetzes.

1. Capitel.

Versuche mit verdunkelnden Gläsern.

§ 36.

Bekannt sind die einfachen Versuche, womit Fechner*) eine vorläufige Prüfung des Weber'schen Gesetzes unternahm. Er suchte bei halbbedecktem Himmel zwei benachbarte Wolken-nüancen auf, die sich in ihrer Helligkeit so wenig von einander unterschieden, dass ihr Unterschied nach Fechner's Ansicht als nur eben merklich gelten konnte. Hierauf schwächte er die beiden Componenten dieses Lichtunterschiedes in gleichem Verhältnisse, indem er verdunkelnde, graue oder farbige, Gläser vor die beiden Augen oder das eine offene Auge hielt. In solchem Falle erschien ihm sowie auch anderen Beobachtern, z. B. Hankel, Rüte, Volkmann, der Unterschied der beiden verminderten Lichtintensitäten mindestens so deutlich als zuvor. Hieraus glaubt Fechner schliessen zu dürfen, dass der eben merkliche Unterschied zweier Lichtempfindungen wenigstens sehr annähernd an ein constantes Verhältniss der beiden einwirkenden Lichtintensitäten gebunden sei.

Indessen es unterliegt kaum einem Zweifel, dass auf das Ergebniss derartiger Beobachtungen im Grunde nur sehr wenig zu geben ist. Von einer wirklichen Anwendung der Methode

*) Vergl. Fechner, Ps. Gr., S. 457 ff., Ps. I, S. 141 ff.

der eben merklichen Unterschiede oder gar der Methode der kleinsten Unterschiede im Sinne des § 20 kann hier gar nicht die Rede sein; vielmehr handelte es sich bei diesen Versuchen Fechner's thatsächlich um eine Vergleichung zweier nach einander gegebener, sehr geringer, aber doch übermerklicher Unterschiede. Eine Vergleichung derartiger Unterschiede ist aber bekanntermaassen ziemlich misslich; und ein wesentlicher Vorzug der Methoden der kleinsten Unterschiede und der r. und f. Fälle besteht eben darin, dass sie eine solche Vergleichung ganz umgehen. Eine nähere Kritik des Versuchsverfahrens, welches bei den in Rede stehenden Versuchen Fechner's zur Anwendung gekommen ist, findet sich bereits in § 18 und § 32. Dass wir nicht zu weit gehen, wenn wir diese Versuche als etwas unzulänglich bezeichnen, scheint daraus hervorzugehen, dass Fechner, wie bereits angedeutet, die Merklichkeit des Unterschiedes zweier Wolkennüancen gleichfalls unverändert fand, wenn er sich statt grauer Gläser solcher von verschiedenen Farben zur Abschwächung der beiden Lichtintensitäten bediente. Wir wissen aber aus später näher zu besprechenden Untersuchungen verschiedener Beobachter, die sich die Aufgabe stellten, den Einfluss der Wellenlänge des Lichtes auf die Empfindlichkeit für Helligkeitsunterschiede festzustellen, dass die relative Unterschiedsempfindlichkeit im Gebiete des Gesichtssinnes je nach den verschiedenen Farben eine sehr verschiedene ist, so dass, auch wenn man nur diejenigen Intensitätsgrade der Spectralfarben in Betracht zieht, wo die relative Unterschiedsempfindlichkeit ihr Maximum erreicht hat, die Grösse des eben merklichen relativen Helligkeitsunterschiedes doch für einen und denselben Beobachter je nach der Wellenlänge des einwirkenden Lichtes zwischen $\frac{1}{13}$ bis $\frac{1}{267}$ schwanken kann. Selbst wenn wir nun beachten, dass wir ausser dem rothen Glase keine farbigen Glasarten besitzen, die nur homogene Strahlen durchlassen, und selbst wenn wir annehmen, dass Fechner und seine Mitbeobachter eine verhältnissmässig sehr gleichmässige Empfindlichkeit für die Intensitätsunterschiede der verschiedenen Farben besaßen, so scheint es uns doch, als ob bei den in Rede stehenden Beobachtungen Fechner's u. A., wenn sie ihrem Zwecke ganz entsprechend gewesen wären, eine Verschiedenheit der Unterschiedsempfindlichkeit für die verschiedenen Farben sich hätte herausstellen müssen.

Zu erwähnen ist übrigens, dass der Unterschied der Wolken-nüancen einigen Beobachtern, z. B. Hankel und oft auch Fechner selbst, nach Vornahme der verdunkelnden Plangläser thatsächlich doch etwas schärfer erschien als bei Betrachtung mit blossem Auge. Den Grund dieser Thatsache möchten wir mit Aubert (a. a. O. S. 81) darin suchen, dass für einige Beobachter und in einzelnen Fällen auch für Fechner bei Betrachtung der Wolken-nüancen mit blossem Auge bereits die nach dem Zustande des Sehorganes schwankende, obere Grenze der Reizintensität erreicht war, bei welcher die relative Unterschiedsempfindlichkeit wieder abnimmt, und dass in Folge dessen bei Abschwächung der Lichtintensitäten durch die verdunkelnden Gläser der Unterschied der beiden Helligkeiten deutlicher erschien als zuvor. In der That dürfte die Helligkeit der Wolkendünste und ihrer Schattirungen bei halbbedecktem Himmel keine geringe sein, und es scheint aus irgendwelchen Gründen Neigung vorhanden zu sein, dieselbe zu unterschätzen. So bemerkt Arago (a. a. O. XII, S. 149), dass, wenn der ganze Himmel mit gleichförmigen, grauen Wolken überzogen und die Erde mit einer Schneeschicht bedeckt sei, Niemand anstehe zu erklären, dass der Schnee viel glänzender sei als der Himmel; werde aber das flüchtige Urtheil durch photometrische Messung ersetzt, so zeige sich thatsächlich das Gegentheil. Fechner selbst giebt späterhin zu, dass vielleicht bei sehr heller Wolkenbeleuchtung wirklich ein kleiner Gewinn in Verdeutlichung der Unterschiede der Wolken-nüancen durch die dunklen Gläser erzielt worden sei, hält aber, in Hinblick auf das Ergebniss der Combination jener Versuche mit gewissen Gegenversuchen, diesen Gewinn für einen sehr geringfügigen.

Der soeben erwähnte Gegenversuch, mit dem Fechner den Versuch der bisher besprochenen Art combinirte, bestand darin, dass er, während er die grauen Gläser vor den Augen hatte, einen möglichst schwachen Lichtunterschied, den er für eben merklich schätzte, am Himmel aufsuchte und dann die Gläser von den Augen wegnahm, um zu sehen, ob dieser Unterschied auch dem unbewaffneten Auge noch merkbar sei. Fechner konnte bei mehrfacher Wiederholung dieses Versuches nie einen schwachen Helligkeitsunterschied entdecken, den er nicht auch nach Entfernung der Gläser noch zu erkennen vermochte. Allerdings verhinderte die nach Hinwegnahme der Gläser entstehende

momentane Blendung eine sofortige Wahrnehmung des Unterschiedes; eine Thatsache, der die analoge entsprach, dass der plötzliche Lichtwechsel auch bei Vornahme der Gläser ein momentanes Undeutlicherwerden des Lichtunterschiedes zu Folge hatte. Was den Werth solcher mit den Versuchen der ersteren Art combinirter Gegenversuche betrifft, so bemerkt Fechner, dass, wenn der schwächstmögliche Unterschied, der ohne Gläser noch erkennbar sei, auch mit stark verdunkelnden Gläsern noch wahrgenommen werde, und wenn umgekehrt der schwächstmögliche Unterschied, der sich mit stark verdunkelnden Gläsern erkennen lasse, bei Betrachtung mit blossem Auge überhaupt noch merkbar sei, darin eine Art objectiver Beweis liege, dass der Unterschied durch die Gläser in keinem irgends erheblichen Grade an Merklichkeit gewinnen oder verlieren könne. Fechner übersieht, dass die Grösse des eben merklichen Unterschiedes nicht unwesentlich mit von den ihrer Intensität und Richtung nach fortwährend veränderlichen zufälligen Fehlervorgängen beeinflusst wird und daher nothwendig auch selbst eine fortwährend schwankende ist, und dass die von ihm „für eben merkliche taxirten“ Lichtunterschiede thatsächlich doch übermerkliche Unterschiede waren. Es besitzen daher die bei jener Versuchscombination erhaltenen Resultate keineswegs die ihnen von Fechner beigelegte Beweiskraft. Auch stand bei den bisher besprochenen Versuchen die gleichförmige Erhaltung des Verhältnisses der zu vergleichenden Helligkeiten während der Dauer eines Versuches ganz ausserhalb der Macht des Beobachters. Gegen das letztere Bedenken sind die Versuche gesichert, die Fechner, in gleicher Weise wie die bisher besprochenen Beobachtungen an Wolken-*nüancen*, mit Combination von Versuch und Gegenversuch an Schattirungen anstellte, die er möglichst schwach mit Tusche auf Velinpapier hervorbrachte. Bei diesen Versuchen erkannte Fechner bei hellem Tageslichte selbst mit verdunkelnden Glascombinationen, die nach genauen photometrischen Messungen nur $\frac{1}{100}$ Licht durchliessen, nachdem er kurze Zeit hindurchgesehen, noch die schwächstmöglichen Schattirungen, die er mit blossem Auge nur eben erkennbar fand. Bei blossem Lampenscheine war es allerdings nicht mehr möglich, solche Schattirungen bei so hohem Grade der Verdunkelung wahrzunehmen.

2. Capitel.

Schattenversuche.

§ 37.

Versuche mit eben merkbaren oder eben unmerkbarcn Schatten werden bekanntermaassen meist in der Weise ausgeführt, dass man von 2 Lichtquellen L und L' , die eine weisse Fläche beleuchten und auf derselben den Schatten eines Gegenstandes geeigneter Art, z. B. eines Lineales oder einer Kugel, werfen, die eine (L') allmählich von der beleuchteten Fläche entfernen oder derselben annähern lässt, bis der von ihr herrührende Schatten auf dem rings von beiden Lichtern erleuchteten, weissen Grunde eben unmerklich (Bouguer, Arago) oder eben merklich (Volkmanu, Aubert) wird. Aus den Abständen*) der beiden Flammen von der weissen Fläche und ihrem Intensitätsverhältnisse — natürlich empfiehlt es sich, 2 Lichtquellen ganz gleicher Leuchtkraft anzuwenden — berechnet sich unter Berücksichtigung der Einfallswinkel der Lichtstrahlen das Helligkeitsverhältniss des hellen Grundes zu dem eben merkbaren oder eben unmerkbarcn Schatten. Um nun das Weber'sche Gesetz zu prüfen, hat man nur Versuche dieser Art zu wiederholten Malen anzustellen, indem man entweder die Lichtstärke der beiden Flammen variirt oder die nähere Lichtquelle und mithin auch die entferntere in verschiedene Abstände von der weissen Fläche bringt, und darauf zu achten, ob das Verhältniss der beiden Helligkeiten des weissen Grundes in allen Fällen annähernd constant bleibt oder nicht.

Diese Schattenversuche scheinen sehr einfacher Art zu sein; doch bedarf es bei Ausführung derselben ziemlich zahlreicher Vorsichtsmaassregeln, von denen wir die folgenden hier anführen:

*) Das Gesetz der Entfernungen ist allerdings für die Lichtwirkungen nicht ganz genau gültig, wenn die Ausdehnung der Lichtquelle nicht unendlich klein gegen ihre Entfernung von der zu beleuchtenden Fläche ist. Doch kann hiervon abgesehen werden, wenn, was sich auch aus anderen Gründen empfiehlt, die Ausdehnung der Flamme nicht sehr gross und ihre Entfernung von der weissen Fläche nicht sehr gering genommen wird.

1) Es muss Sorge getragen werden, dass sich die gemessenen Leuchtstärken der beiden Lichtquellen L und L' während des Versuches nicht ändern. Es sind daher Erschütterungen und Temperaturänderungen der die Verbrennung unterhaltenden Luft und schnelle Bewegungen der beiden Lichtquellen möglichst zu vermeiden.

2) Da die Intensität der Beleuchtung der weissen Tafel nicht nur von der Leuchtkraft und den Entfernungen der beiden Lichtquellen abhängt, sondern auch von den Einfallswinkeln der Lichtstrahlen — von dem Ausstrahlungswinkel kann hier abgesehen werden —, so ist entweder der Einfallswinkel der Lichtstrahlen jedes Mal mit in Rechnung zu bringen, oder, was vorzuziehen ist, darauf zu achten, dass die beiden Lichtquellen ihre Strahlen immer unter dem gleichen Winkel auf die in's Auge zu fassenden Theile der weissen Fläche auffallen lassen.

3) Wird übrigens dann, wenn man, um den Punkt der Ebenmerklichkeit des Lichtunterschiedes festzustellen, die fernere Lichtquelle L' verrückt, nicht darauf Acht gegeben, dass diese Lichtquelle immer in einer Geraden bewegt werde, die durch den Schatten werfenden Gegenstand mitten hindurch geht, so wird während der Verschiebung von L' der Schatten auf dem weissen Grunde sich bewegen, und diese Bewegung wird zwar nach den Untersuchungen Arago's u. A. die Erkennbarkeit des Helligkeitsunterschiedes erleichtern, aber, wenn sie nicht bei allen Versuchen in gleicher Weise stattfindet, die Triftigkeit und Genauigkeit derselben merklich beeinträchtigen können. Das Entsprechende gilt auch von der Bewegung des Kopfes des Beobachters.

4) Die Genauigkeit der Versuchsergebnisse wird offenbar durch jede unberechenbare Erhellung beeinträchtigt, die dem Grunde, auf welchem der zarte Schatten sich darstellt, auf anderem Wege als vermittelt der directen Bestrahlung durch die beiden Lichtquellen zu Theil wird; desgleichen durch jede Reizung, welche auf die Netzhauttheile, die von den mit einander zu vergleichenden Lichtintensitäten erregt werden, noch ausserdem gleichzeitig ausgeübt wird, sei es durch Strahlen, die durch die Sclerotica hindurch dringen, sei es durch andere, die von seitlichen Objecten kommend durch die Pupille hindurchgehen und innerhalb der Medien des Augapfels nach den centraleren Netzhauttheilen hin zerstreut werden. Hieraus folgt, dass man

ausser den beiden Lichtquellen L und L' alles andere Licht bei den Versuchen fernzuhalten hat und die Beobachtungen womöglich, ähnlich wie Masson bei seinen Untersuchungen über elektrische Photometrie verfuhr, in einem Zimmer anzustellen hat, in dem alle Wände und Gegenstände mit mattem Schwarz verdunkelt sind, um zu verhindern, dass auch in Folge von Reflexion an den Wänden und Gegenständen des Zimmers Licht von unberechenbarer Quantität auf die weisse Tafel oder direct auf die Sehhaut und Hornhaut des Beobachters falle. Selbstverständlich darf das Auge des Letzteren auch nicht direct von den beiden zum Versuche unumgänglich nothwendigen Lichtquellen bestrahlt werden.

5) Für die Erkennbarkeit eines Lichtunterschiedes dürfte es nicht gleichgültig sein, ob der Uebergang von der einen der beiden zu vergleichenden Helligkeiten zu der anderen ein allmählicher oder ein plötzlicher ist. Im letzteren Falle scheinen zwei Helligkeiten leichter von einander unterschieden werden zu können. Nun wirft jede ausgedehnte Lichtquelle ausser dem Kernschatten eines Gegenstandes auch noch einen sogenannten Halbschatten, der von dem Kernschatten an allmählich an Lichtstärke zunimmt und zuletzt in die Helligkeit des umgebenden Grundes übergeht und im Allgemeinen um so breiter ist, je ausgedehnter die Flamme, je weiter der Schatten werfende Gegenstand von der den Schatten auffangenden Fläche entfernt, und je näher derselbe der Lichtquelle ist. Hieraus ergiebt sich, dass bei Versuchen, wo die Abänderung der beiden zu vergleichenden Helligkeiten durch Aenderung der Entfernungen der Lichtquellen L und L' bewerkstelligt wird, die letztere Lichtquelle in grosse Nähe des Schatten werfenden Gegenstandes nicht gebracht werden darf, weil sonst der Einfluss des Halbschattens auf die Erkennbarkeit des Lichtunterschiedes als Fehlerquelle in Betracht kommt. Noch mehr ist auf diesen Einfluss des Halbschattens Rücksicht zu nehmen, wenn man, um die beiden Helligkeiten der weissen Fläche zu variiren, nicht die Abstände, sondern die Dimensionen der beiden Flammen verändert.

6) Wie Aubert (a. a. O. S. 82 ff.), Volkmann (a. a. O. S. 51 ff.) u. A. nachgewiesen haben, ist die Wahrnehmbarkeit eines Helligkeitsunterschiedes, der zwischen einer kleinen Lichtfläche und einer sie umgebenden helleren Zone besteht, von der Grösse des der ersteren entsprechenden Netzhautbildes abhängig.

Je grösser dieses ist, desto leichter wird im Allgemeinen der Helligkeitsunterschied erkannt. Auch aus diesem Grunde darf bei solchen Beobachtungen, wo die Entfernungen der Lichtquellen L und L' von der weissen Tafel variirt werden, der Abstand zwischen L' und dem Schatten werfenden Gegenstande nicht allzu sehr verringert werden, weil sonst die Ausdehnung des Schattens bei Aenderung dieses Abstandes sich merklich vergrössert oder verringert und hierdurch der Vergleichbarkeit der Versuchsergebnisse Abbruch geschieht. Ferner muss die Entfernung des beobachtenden Auges von der weissen Tafel während jeder Versuchsreihe möglichst constant gehalten werden, weil zwar die Intensität des von einer Lichtfläche entworfenen Netzhautbildes bei verschiedenen Entfernungen der Fläche vom Auge innerhalb gewisser Grenzen annähernd gleich bleibt*), nicht aber die Grösse des Netzhautbildes, die, wie bemerkt, für die Wahrnehmbarkeit des Lichtunterschiedes durchaus nicht unwesentlich ist.

Ausser den im Vorstehenden angeführten Punkten sind natürlich noch viele andere, wie insbesondere die Ermüdbarkeit des Auges und der Aufmerksamkeit, zu berücksichtigen. Doch wird man die vorstehenden Punkte insbesondere im Auge zu behalten haben, wenn man einen Maassstab für die Beurtheilung der im Folgenden kurz zu besprechenden Versuche gewinnen

*) Der von R. Smith, J. Herschel und Arago (a. a. O. XI, S. 117 ff.) aufgestellte Satz, dass das von einem Gegenstande merklichen Durchmessers entworfenen Netzhautbild bei allen Entfernungen des Gegenstandes, bei denen der Durchmesser desselben merklich bleibe, dieselbe Helligkeit behalte, erleidet offenbar eine Einschränkung durch die bei der Accommodation vor sich gehenden Aenderungen der Pupillenweite und der Krümmungen der Linsenflächen und insbesondere auch durch die Lichtabsorption in der Luft. Delboeuf (a. a. O. S. 72) glaubt gefunden zu haben, dass die Helligkeit eines Bildes sich verringere, wenn der Abstand desselben vom Beobachter zunehme. — Zu bemerken ist übrigens, dass die Erkennbarkeit eines Schattens nur bis zu gewisser Grenze mit der Ausdehnung desselben zuzunehmen scheint. Zu berücksichtigen ist auch die merkwürdige Thatsache, dass (vergl. Arago, a. a. O. X, S. 165, Fechner, Ps. I, S. 174 f., Zöllner, Photometrie des Himmels, S. 32) ein gegebener Helligkeitsunterschied leichter erkannt zu werden scheint, wenn seine Componenten sich auf einem helleren Grunde darstellen, als wenn sie hell auf dunklerem Grunde erscheinen.

will, betreffs derer uns allerdings zum Theil nur sehr unvollständige Mittheilungen vorliegen.

§ 38.

Bouguer*) — der Erste, der Versuche angestellt hat, die das Weber'sche Gesetz berühren — operirte mit Wachskerzen von gleicher Dicke, deren eine er in der Entfernung eines Fusses von einer weissen Tafel aufstellte. Der Schatten, den die andere Kerze von einem vor der weissen Tafel befindlichen Lineale warf, wurde unmerkbar, wenn der Abstand dieser Kerze ungefähr 8 Fuss, mithin der relative Unterschied der beiden Helligkeiten ungefähr $\frac{1}{64}$ betrug. Bouguer bemerkt, dass er die beiden Lichtintensitäten leicht von einem und demselben leuchtenden Körper hätte gewinnen können; aber er habe das Experiment öfter wiederholt und die Stellen beider Kerzen vertauscht, um sich von der Gleichheit ihrer Lichtstärke zu überzeugen. Ferner erklärt er, dass Beobachter, die seine Versuche wiederholen würden, zweifelsohne je nach der verschiedenen Disposition der Augen etwas verschiedene Verhältnisse der beiden eben nicht mehr unterscheidbaren Helligkeiten erhalten würden. So viel er für seine Person bemerkt habe, wirke grosse Helligkeit des Lichtes auf jenes Verhältniss nicht verändernd ein, falls nur den Augen nicht Gewalt angethan werde; doch scheine es angemessen, Lichter von grosser Intensität, die man mit einander vergleichen wolle, zuvor in Lichter von mittlerer Stärke zu verwandeln, indem man ihre Intensitäten um einen gleichen Bruchtheil verringere. Uebrigens scheint Bouguer den Werth des eben unmerkbaren Helligkeitsunterschiedes thatsächlich doch nicht sehr constant gefunden zu haben, da er unter Berufung auf seine eigenen Beobachtungsergebnisse ausdrücklich bemerkt, dass man nicht zu erwarten habe, bei verschiedenen Versuchen dieser Art immer dasselbe Resultat zu erhalten.

§ 39.

Noch weniger als betreffs der Versuche Bouguer's, die zweifelsohne nur von geringer Ausdehnung waren und als wenig

*) Bouguer, *Traité d'optique sur la gradation de la lumière etc.* publié par De la Caille, Paris 1760, S. 51 ff.

maassgebend zu betrachten sind, sind wir betreffs der hierher gehörigen Versuche Arago's unterrichtet. Masson bemerkt gelegentlich (a. a. O. S. 150), Arago habe ihm gegenüber geäussert, dass er die Versuche Bouguer's wiederholt und variirt und auch mit farbigen Lichtern experimentirt habe. In seiner populären Astronomie (a. a. O. XI, S. 169) erklärt Arago, dass Versuche, die nach dem obigen Verfahren Bouguer's angestellt würden, stets auf dasselbe Verhältniss der beiden eben unmerkbar verschiedenen Helligkeiten führen würden, welches auch die absolute Intensität derselben sei, und dass eine Bewegung von gewisser Schnelligkeit Helligkeitsunterschiede wahrnehmbar mache, die das Auge im Zustande der Ruhe nicht erkenne, nämlich Helligkeitsunterschiede unter $\frac{1}{64}$. Arago scheint uns jedoch, was wir hier nicht weiter begründen, in jenem 4. Capitel seiner Astronomie, abgesehen von der Bemerkung über den Einfluss der Bewegung des Schattens, nicht sowohl eigene als vielmehr die Versuche Bouguer's vor Augen zu haben. Auch lässt er sonst nirgends etwas von eigenen Versuchen derart verlauten, wie er Masson gegenüber erwähnt hat. In Hinblick hierauf und in Anbetracht dessen, dass es Arago durchaus nicht an Gelegenheit gefehlt hat, eigene sorgfältige Versuchsreihen der in Rede stehenden Art in geeigneter Weise zur Sprache zu bringen, tragen wir Bedenken, jenen Beobachtungen Arago's, deren er Masson gegenüber Erwähnung that, irgend welches Gewicht beizulegen, zumal da Arago an verschiedenen Stellen gewisser, bei seinem höheren Lebensalter veröffentlichter Schriften, wo er veranlasst ist, von der Grösse des eben merklichen Lichtunterschiedes zu sprechen, derselben das eine Mal diesen, das andere Mal jenen Werth zuschreibt*); eine Unsicherheit, die doch kaum vorhanden sein würde, wenn Arago vermittelt eigener, sorgfältiger und ausgedehnter Versuchsreihen sich von der Richtigkeit der Angaben Bouguer's überzeugt gehabt hätte. Genaue Versuche eines Arago sind gewiss von nicht geringer Bedeutung; aber uns will es bedünken, als habe Arago nur einige, vielleicht zu verschiedenen Zeiten wiederholte und von verschiedenen Resultaten begleitete, oberflächliche und wenig ausgedehnte Beobachtungen der hier in Rede stehenden Art ausgeführt.

*) Vergl. Arago, a. a. O. XI, S. 133 und 169, XII, S. 136, 152 und 467, und *Annuaire du bureau des longitudes* von 1846, S. 384.

§ 40.

Auf Anregung seitens Fechner's stellte auch Volkmann*) in Verbindung mit Knoblauch, Heidenhain und Jung Versuche mit eben merkbaren Schatten an. Volkmann fand, dass der Abstand der einen Kerze von der verticalen weissen Tafel ungefähr 10 Mal so viel betragen müsse, als die Entfernung der anderen Kerze von gleicher Leuchtkraft, mithin der eben merkliche Helligkeitsunterschied ungefähr $= \frac{1}{100}$ sei. Dieses Resultat stellte sich, ebenso wie bei Volkmann auch bei dessen Mitbeobachtern, bei verschiedenen Beleuchtungsgraden heraus, die theils durch Abänderung der Leuchtkraft beider Flammen, theils dadurch erhalten wurden, dass die nähere Lichtquelle L in verschiedene Entfernungen von der weissen Tafel gebracht wurde. „So wurde der Versuch von einer Intensität der Beleuchtung L gleich 0,36 durch Intensitäten $= 1, = 2,25, = 7,71$ bis 38,79 variirt, wobei als 1 die Beleuchtung durch eine Stearinkerze in 3 Decimeter Abstand von der weissen Tafel gilt, ohne dass das Verhältniss der Distanz der anderen Lichtquelle zur Tafel bemerklich oder erheblich anders ausfiel.“ Nur bei der schwächsten Beleuchtung (0,36) musste die Distanz des Lichtes L' etwas weniger als das Zehnfache der Distanz des Lichtes L betragen, damit der Schatten noch eben merkbar sei.

Was die Genauigkeit der Anstellungsweise dieser Versuche Volkmann's betrifft, deren Mittheilung in dieser Beziehung leider keine vollständige ist, so war die Gleichheit der beiden Lichtquellen L und L' vor den Versuchen auf doppeltem Wege constatirt worden. Die Lichtquelle L' wurde nicht von dem jedesmaligen Beobachter selbst, sondern von einem der Mitbeobachter in die verschiedenen Entfernungen von der weissen Tafel gebracht. Dieser rückte das Licht um den Punkt des Verschwindens des Schattens hin und her und zwar auf den Ruf des mit Auge und Aufmerksamkeit ganz auf Wahrnehmung des Schattens gerichteten Beobachters. In Folge dessen wurde sowohl der unter dem Einflusse der Bewegung des Schattens bestimmte Punkt der Ebenmerklichkeit möglichst genau erhalten als auch die definitive Fixation des Abstandes ohne Kenntniss des letzteren seitens des Beobachters vollzogen. Da dennoch innerhalb einer

*) Vergl. Fechner, Ps. I, S. 148 ff., Ps. Gr., S. 465 ff.

gewissen Weite, etwa $\frac{1}{10}$ des Totalabstandes, das Licht L' verrückt werden konnte, ohne dass man genau wusste, wo der Punkt der Ebenmerklichkeit des Schattens anzunehmen sei, so wurde im Allgemeinen für jeden Beobachter das Mittel aus mehreren Versuchen als maassgebend angesehen.

Trotz des soeben Angeführten können wir jedoch die Ausführungsweise dieser Versuche nicht für hinlänglich genau und die Resultate derselben nicht für ganz maassgebend erklären. Wir bemerken hier nur das Folgende. Erstens wird uns nirgends mitgetheilt oder angedeutet, dass Volkmann und dessen Mitbeobachter die Abhängigkeit der Beleuchtungsstärke von dem Einfallswinkel der Lichtstrahlen mit in Rechnung gezogen hätten. Daraus, dass Fechner (Ps. I, S. 172) äussert, auch Volkmann habe den für die Erkennbarkeit des Schattens förderlichen Einfluss der Bewegung desselben wahrgenommen, und der eben merkliche Unterschied $\frac{1}{100}$ sei unter dem Einflusse der Bewegung bestimmt, lässt sich nicht gerade darauf schliessen, dass bei diesen Versuchen viel Sorgfalt darauf verwandt worden sei, die Einfallswinkel der Lichtstrahlen constant zu halten. Denn nur wenn der Einfallswinkel der Strahlen der Lichtquelle L' nicht constant blieb, konnte sich der Schatten bewegen. Zweitens vermissen wir die Angabe irgend welcher Vorsichtsmaassregeln, welche die Reflexion des von den beiden Lichtquellen ausgehenden Lichtes an den Wänden und Gegenständen des Zimmers verhinderten oder wenigstens beträchtlich verringerten. Drittens erhebt Aubert (a. a. O. S. 57), wie es scheint, mit Recht den Einwand, dass bei diesen Versuchen Volkmann's die Entfernungen der beiden Lichter von der weissen Tafel zu gering gewesen seien. Da nämlich die nähere Kerze nur in Abständen von der weissen Fläche aufgestellt worden sei, die zwischen 48 bis 500 Millimeter betrugen, so habe sich die Kerzenflamme im Gesichtsfelde des Beobachters befunden und die Empfindlichkeit desselben für geringe Helligkeitsunterschiede der weissen Tafel vermindert. Endlich war es, wie Aubert gleichfalls hervorhebt, eine andere üble Folge der geringen Entfernung der beiden Lichter von der weissen Fläche, dass der Schatten des Stabes, dessen Abstand von der weissen Tafel uns leider nicht genannt wird, diffuse Begrenzungen bekam. Dieser Uebelstand, die Abnahme der Schärfe der Schattenränder, war um so grösser, je näher die beiden Lichter der weissen Fläche waren, und je intensiver mit-

hin die beiden eben unterscheidbaren Helligkeiten waren. Man könnte daher glauben, dass bei diesen Beobachtungen Volkmann's ein der Unterschiedsempfindlichkeit günstiger Einfluss der absoluten Lichtintensität wegen des ungünstigen Einflusses der allmählichen Zunahme des Halbschattens nicht bemerklich geworden sei. *)

§ 41.

Dass wir nicht ganz willkürlich verfahren, wenn wir das Ergebniss der bisher besprochenen Versuche Volkmann's für wenig maassgebend erklären, scheint vor Allem auch daraus hervorzugehen, dass neuere Versuche Volkmann's wesentlich andere Resultate als die bisher erörterten Versuche dieses Forschers ergaben, und dass dieser selbst, in Hinblick auf die Resultate seiner neueren Versuche, kein Bedenken trägt, im Gegensatze zu dem Ergebnisse der Versuche des vorigen Paragraphen die Behauptung aufzustellen, dass der kleinste erkennbare relative Unterschied kein constanter Werth, sondern vielmehr innerhalb gewisser Grenzen in der Weise von der Lichtstärke abhängig sei, dass er bei Steigerung der absoluten Helligkeit allmählich abnehme. Volkmann (a. a. O. S. 56 ff.) unternahm nämlich neue Versuche, um darzuthun, dass bei Schattenversuchen der Art, wie wir in diesem Capitel besprechen, die Ausdehnung des Schattens von merklichem Einflusse auf dessen Erkennbarkeit sei. Diese Versuche ergaben aber gleichzeitig, dass die Wahrnehmbarkeit des Schattens auch von der absoluten Helligkeit der beiden Componenten des Lichtunterschiedes abhängt. Die Anstellungsweise dieser Versuche war im Allgemeinen dieselbe wie die der früheren Versuche Volkmann's. Zur Beleuchtung dienten zwei Lichter von erprobter Maassen gleicher Stärke. Die Entfernung des näheren beider Lichter betrug 1, $\frac{1}{2}$ und $\frac{1}{4}$ Meter. Der Abstand des entfernteren Lichtes wurde wie bei den früheren Versuchen in der Weise regulirt, dass der Schatten nur eben noch erkennbar war. Die

*) Die Versuche Volkmann's, bei denen die Intensität der Beleuchtung der weissen Tafel durch Abänderung nicht der Entfernung, sondern der Leuchtkraft beider Lichtquellen variirt wurde, dürften, wie die Sache ergibt, nur sehr wenig ausgedehnt gewesen sein.

Schatten werfenden Körper waren zwei Kugeln von 1''' und 5''' Durchmesser*), die während derjenigen Versuche, wo der Abstand des näheren Lichtes von der weissen Tafel nur = 0,25 Meter war, in einer Entfernung von 80 Millimeter, sonst aber in einer Entfernung von 150 Millimeter vor der weissen Fläche an Coconfäden aufgehangen waren. Folgende Tabelle, deren Einrichtung keiner weiteren Erläuterung bedarf, enthält die von Volkmann erhaltenen relativen Werthe des eben merklichen Unterschiedes.

Tabelle II.

Relative Werthe des eben merklichen Unterschiedes nach Volkmann's neueren Versuchen.)**

Beobachter		Entfernung des nähsten Lichtes L von der weissen Tafel = 1 Meter	Entfernung von L = 0,5 Meter	Entfernung von L = 0,25 Meter
Durchmesser der Kugel = 1'''	Volkmann	$\frac{1}{28,4}$	$\frac{1}{48,6}$	$\frac{1}{80,8}$
	Ingenieur Volkmann .	$\frac{1}{32,5}$	$\frac{1}{49,5}$	
	stud. Jahn	$\frac{1}{31,5}$	$\frac{1}{41,7}$	$\frac{1}{79,2}$
	Dr. Schweigger-Seidel	$\frac{1}{38,9}$	$\frac{1}{59}$	$\frac{1}{110}$
Durchmesser der Kugel = 5'''	Volkmann	$\frac{1}{53,6}$	$\frac{1}{72,9}$	$\frac{1}{100}$
	Ingenieur Volkmann .	$\frac{1}{58,4}$	$\frac{1}{82,8}$	
	stud. Jahn	$\frac{1}{55,4}$	$\frac{1}{74,6}$	$\frac{1}{121}$
	Dr. Schweigger-Seidel	$\frac{1}{65,6}$	$\frac{1}{103}$	$\frac{1}{195}$

Aus dieser Zusammenstellung geht ganz klar hervor, dass der kleinste erkennbare Unterschied ebenso wie von der Ausdehnung der einen Unterschiedscomponente auch von der absoluten Helligkeit abhängig ist; und auch Volkmann trägt, wie erwähnt, kein Bedenken, diesen Schluss zu ziehen. Wie es ge-

*) Volkmann stellte auch noch eine zweite, nicht näher mitgetheilte Versuchsreihe an, bei der die Durchmesser der beiden Kugeln = 1''' und 10''' waren. — **) Die in Tabelle II angegebenen Werthe sind Mittelwerthe; die Gesamtzahl der dieser Tabelle zu Grunde liegenden, mit einander gut übereinstimmenden Einzelbeobachtungen ist = 72.

kommen sei, dass sich dieser Einfluss der Lichtstärke nicht auch bei den früheren Versuchen merklich gemacht habe, vermag Volkmann nicht anzugeben. Er erklärt keinen anderen Unterschied zwischen der Anstellungsweise der früheren und derjenigen der neueren Versuche zu wissen als den, dass letztere mit ausserordentlich kleinen Schatten angestellt worden seien. Wir haben schon am Ende des vorigen Paragraphen hervorgehoben, dass bei den früheren Versuchen Volkmann's wegen der theilweise nur sehr geringen Entfernung der beiden Lichter von der weissen Tafel wahrscheinlich der Schatten des Stabes merklich diffuse Begrenzungen gehabt habe und vielleicht aus diesem Grunde eine mit der Steigerung der absoluten Lichtintensität verknüpfte Zunahme der relativen Unterschiedsempfindlichkeit nicht bemerklich geworden sei, weil eben der Einfluss der absoluten Helligkeit auf die Unterschiedsempfindlichkeit durch den mit der Annäherung der beiden Lichtquellen an die weisse Tafel wachsenden, ungünstigen Einfluss des Halbschattens verdeckt worden sei. Diese Vermuthung scheint darin eine gewisse Bestätigung zu finden, dass bei den neueren Versuchen Volkmann's ein ähnlicher Einfluss des Halbschattens nur in äusserst geringem Maasse stattgefunden haben kann. Denn während der Abstand der entfernteren Kerze bei den früheren Versuchen Volkmann's von 5000 Millimeter an sich bis auf 480 Millimeter verringerte, betrug derselbe bei den neueren Versuchen, während die nähere Kerze in den Abständen von 1 Meter oder 0,5 Meter sich befand, bei Anwendung der kleineren Kugel im Mittel 5720 Millimeter, resp. 3473 Millimeter, und bei Benutzung der grösseren Kugel 7625 Millimeter, resp. 4555 Millimeter. Während sich die nähere Lichtquelle in der Entfernung von nur 0,25 Meter befand, betrug der Abstand der entfernteren Kerze im Mittel allerdings nur 2135 Millimeter, resp. 2763 Millimeter, und man könnte denken, dass bei dieser Annäherung an die weisse Tafel jener Einfluss des verbreiterten Halbschattens sich habe bemerklich machen können. Allein da Volkmann für diese dritte Entfernung (0,25 Meter) der näheren Kerze von der weissen Fläche die beiden Schatten werfenden Kugeln, die sonst 150 Millimeter von der weissen Tafel entfernt waren, in den geringeren Abstand von 80 Millimeter brachte, so wurde, wie sich auch durch Rechnung näher darthun lässt, jener Einfluss der Annäherung der beiden Lichter auf die Breite des Halbschattens durch den

an und für sich eine Verschmälerung dieses Schattens bewirkenden Einfluss der Annäherung der beiden Schatten werfenden Kugeln compensirt. Ob sonst noch andere Fehlerquellen, die bei den früheren Versuchen Volkmann's sich geltend machten, aus irgend welchen Gründen bei den neueren Versuchen dieses Forschers in Wegfall kamen, vermögen wir nach den uns vorliegenden Mittheilungen nicht zu entscheiden.*)

§ 42.

Die genauesten Schattenversuche hat Aubert (a. a. O. S. 54 ff.) ausgeführt. Als Schatten werfenden Gegenstand benutzte Aubert einen eisernen Stab, an dessen oberem Ende eine runde Metallplatte von 20 Millimeter Durchmesser parallel zu der den Schatten auffangenden weissen Papierfläche sich befand. Die beiden Stearinkerzen wurden oft auf die Gleichheit ihrer Lichtintensität untersucht, ohne irgend erwähnenswerthe Ungleichheit zu zeigen. Die grösste Sorgfalt wurde darauf verwandt, dass die Flammen beider Kerzen immer gleiche Winkel mit dem Lothe der Papierfläche bildeten. Damit ferner der Reflex von den Wänden und Gegenständen des Zimmers möglichst vermieden und die Lichtflamme selbst von den Augen des Beobachters abgeblendet werde, waren die Kerzen von 3 Seiten mit einem matt geschwärzten Blechschirme umgeben. Dieser Blechschirm hatte ausserdem noch einen sehr günstigen Einfluss auf das ruhige Brennen des Lichtes, indem er jeden nicht sehr bedeutenden Luftzug abhielt und dadurch ein gleichmässiges Verbrennen des Doctes, Schmelzen des Stearins u. s. w. ermöglichte. Bei den Versuchen sass der Beobachter etwas zur Seite von der beleuchteten Tafel und blickte, um Abstumpfung der Netzhaut und Nachbilder zu vermeiden, mit Unterbrechungen

*) Einige wenige Schattenversuche, die sich nur auf 3 verschiedene absolute Helligkeiten erstreckten, hat neuerdings auch W. Camerer (vergl. Zehender's Klinische Monatsblätter für Augenheilkunde, Jahrg. XV, S. 56 f.) unter Zuziehung zweier Mitbeobachter nach der Methode der eben unmerklichen Unterschiede angestellt. Bei diesen Versuchen, betreffs deren wir übrigens Näheres nicht erfahren, schien die relative Unterschiedsempfindlichkeit gleichfalls (sehr merklich bei Camerer selbst, weniger merklich bei seinen Mitbeobachtern) von der absoluten Lichtstärke abhängig zu sein.

auf dieselbe. Es erschien auch zweckmässig, zum Erkennen des schwachen Schattens den Kopf hin und her nach der Seite zu bewegen und abwechselnd der Papiertafel zu nähern und von ihr zu entfernen, da es schwer war, für eine gleichmässige Ebene dauernd scharf accommodirt zu sein. Der Beobachter selbst wusste nichts von der Entfernung der beiden Lichter, sondern hatte nur den Schatten zu beobachten, während ein Gehülfe nach den Angaben des Beobachters die Kerze verschob. Bei den meisten Versuchen wurde dem nächsten Lichte eine Entfernung von 200, 300 Millimeter u. s. w. von der weissen Papiertafel gegeben, und dann das entferntere Licht allmählich und mit öfterem Anhalten verschoben, bis der Schatten an der Grenze der Wahrnehmbarkeit war. Nur in wenigen Versuchsreihen wurde dem entfernteren Lichte ein fester Stand gegeben und die nähere Kerze verschoben. Folgende Tabelle enthält die Ergebnisse dreier nach dem ersten Verfahren (Fixation der näheren und Verschiebung der entfernteren Kerze) von Aubert angestellter Versuchsreihen.

Tabelle III.

Eben merkliche Unterschiede nach Aubert's Schattenversuchen.

Absolute Helligkeit	Versuchsreihe I	Versuchsreihe II	Versuchsreihe III
(577)	$\frac{1}{164}$		
(177)	$\frac{1}{140}$		
100	$\frac{1}{123}$	$\frac{1}{146}$	$\frac{1}{146}$
44	$\frac{1}{106}$	$\frac{1}{123}$	$\frac{1}{121}$
25	$\frac{1}{104}$	$\frac{1}{104}$	$\frac{1}{104}$
16	$\frac{1}{94}$	$\frac{1}{114}$	$\frac{1}{112}$
7	$\frac{1}{90}$	$\frac{1}{74}$	$\frac{1}{65}$
4	$\frac{1}{67}$	$\frac{1}{70}$	$\frac{1}{51}$
1,8		$\frac{1}{49}$	$\frac{1}{46}$
1	$\frac{1}{34,8}$	$\frac{1}{42}$	$\frac{1}{39}$
0,72	$\frac{1}{34,8}$		

Die Resultate dieser 3 Versuchsreihen, von denen Versuchs-

reihe II und III an einem und demselben Abende angestellt sind, stimmen mit den Ergebnissen der neueren Versuche Volkmann's vollkommen überein. Wie die Versuche dieses Forschers, so ergeben auch die Schattenversuche Aubert's, dass die relative Unterschiedsempfindlichkeit eine Function der absoluten Lichtstärke ist.

§ 43.

Versuche, bei denen die Intensitäten der zu vergleichenden Lichtflächen durch Abänderung der Abstände der beiden Lichtquellen variirt werden, müssen meist durch die zu Gebote stehenden Räumlichkeiten gewisse Beschränkungen in ihrer Ausdehnung erleiden. Um die Unterschiedsempfindlichkeit auch bei sehr geringen Helligkeiten untersuchen zu können, führte Aubert die Schattenversuche auch in der Weise aus, dass er die Kerzenflammen durch zwei messbare, verschieden grosse, quadratische Oeffnungen ersetzte, die er innerhalb der Fensterrahmen eines sonst gegen allen Lichtzutritt verwahrten Zimmers anbrachte. Die verschiedenen Grade der absoluten Helligkeit der beleuchteten Papierfläche wurden durch verschiedene Weiten der grösseren Oeffnung hergestellt, und die kleinere Oeffnung wurde in jedem Falle so lange verändert, bis der von ihr herrührende Schatten eben merkbar war. Im Uebrigen wurden die Versuche ebenso und mit gleicher Vorsicht wie die Versuchsreihen mit den Kerzen angestellt. Als die hauptsächlichste Fehlerquelle kommt offenbar bei derartigen Versuchen die örtliche und zeitliche Verschiedenheit der Helligkeit des Himmels in Betracht. Auch darf die mit der absoluten Helligkeit der weissen Papierfläche zunehmende Erweiterung der kleineren Diaphragmaöffnung nicht über eine von den gegebenen Distanzen abhängige Grenze hinausgehen, weil sich sonst der ungünstige Einfluss des Halbschattens merklich macht. Mit diesem Versuchsverfahren war es Aubert möglich, die Unterschiedsempfindlichkeit bis zur geringsten absoluten Helligkeit hin zu untersuchen, welche ihm überhaupt noch merklich zu werden vermochte. Tabelle IV enthält die Resultate zweier nach diesem Verfahren angestellter Versuchsreihen Aubert's.*)

*) Leider stimmen die Werthe der absoluten Helligkeiten und der eben merklichen Unterschiede, die sich in Aubert's Versuchstabellen

Tabelle IV.

**Eben merkliche Unterschiede nach Aubert's Versuchen
mit Diaphragmaöffnungen.**

Absolute Helligkeit	Versuchsreihe IV	Versuchsreihe V
22500		$\frac{1}{44}$
13656		$\frac{1}{39}$
10000	$\frac{1}{32}$	
5625	$\frac{1}{31}$	
3164		$\frac{1}{30}$
2500	$\frac{1}{26}$	$\frac{1}{28}$
1306	$\frac{1}{26}$	$\frac{1}{27}$
506	$\frac{1}{25}$	
351		$\frac{1}{25}$
156	$\frac{1}{25}$	
56		$\frac{1}{11}$
25	$\frac{1}{8}$	
13		$\frac{1}{4}$
6	$\frac{1}{4}$	
5		$\frac{1}{3}$
2,25	$\frac{1}{2,25}$	
1	0	0

Die Einheit der hier angegebenen absoluten Helligkeiten ist diejenige Helligkeit, die auf Aubert einen von dem subjectiven Augenschwarz eben unterscheidbaren Eindruck machte. Wie man sieht, ergeben diese 2 Versuchsreihen im Allgemeinen gleichfalls eine allmähliche Zunahme der Unterschiedsempfindlichkeit bei Steigerung der absoluten Lichtstärke. Auffallend erscheint vielleicht, dass nach Versuchsreihe IV die Unterschiedsempfindlichkeit innerhalb eines kleinen Gebietes von Intensitäten

finden, nicht immer mit den ebendasselbst gegebenen Angaben betreffs der Stellungen der beiden Kerzen oder der Weiten der Diaphragmaöffnungen ganz überein.

bei Erhöhung der absoluten Helligkeit etwas abzunehmen scheint. Aubert äussert sich (a. a. O. S. 60) über diese scheinbare Zunahme der Unterschiedsempfindlichkeit bei Verringerung der Lichtstärke folgendermaassen: „Diese Zunahme ist indess nur scheinbar und rührt von einer besonderen Ursache her, nämlich von einem veränderten Adaptationszustande des Auges. Ich hatte mich nämlich erst kurze Zeit im Finstern aufgehalten, als ich die Beobachtungen begann, und es musste sich daher der Einfluss der Adaptation bei längerem Aufenthalte im Finstern geltend machen. Bei der Reciprocität von Empfindlichkeit und Reiz wird aber offenbar ein empfindlicheres Auge denselben Effect haben wie eine grössere Helligkeit, und wenn wir annehmen, dass, während die Helligkeit 8mal kleiner geworden ist, die Empfindlichkeit 10mal grösser geworden sei, so wird dadurch das ausnahmsweise Steigen der Curve genügend erklärt. Indess schien es mir doch nothwendig, für diese Erklärung weiteren Anhalt zu gewinnen und in anderen Versuchsreihen diese Fehlerquellen auszuschliessen. In mehreren Beobachtungsreihen habe ich denn auch eine gleichmässigere Abnahme der Unterschiedsempfindlichkeit nach vorheriger Adaptation der Netzhaut gefunden“ u. s. w.

3. Capitel.

Versuche mit Rotationsscheiben.

§ 44.

Bei seinen *Etudes de photométrie électrique**) wurde Masson, ähnlich wie früher Bouguer, durch den Wunsch, die Sicherheit seiner photometrischen Bestimmungen kennen zu lernen, dazu geführt, die Empfindlichkeit für andauernde und instantane Helligkeitsunterschiede näher zu untersuchen. Die bei andauernder Beleuchtung ausgeführten Versuche gehen uns in diesem Capitel an.

Masson nahm eine Scheibe weissen Papiers von 6 Centimeter Durchmesser und schwärzte einen Theil eines Sectors der-

*) *Annales de chimie et de physique* par Gay-Lussac etc., III. Sér., T. XIV, XXX, XXXI.

selben, dessen Inhalt in einem gegebenen Verhältnisse zum Kreis-
inhalte der ganzen Scheibe stand, z. B. $\frac{1}{60}$ desselben betrug.
Diese Papierscheibe wurde auf einer kupfernen Scheibe gleichen
Durchmessers befestigt, die mittelst eines Uhrwerkes in eine
Bewegung um ihren Mittelpunkt versetzt wurde, 200 bis 300
Rotationen in der Secunde. Wenn eine solche Scheibe in
schneller Bewegung ist, so zeigt sich bekanntlich ein dunkler
Kranz darauf, dessen Helligkeit im Falle der oben angegebenen
Breite des Sectorabschnittes c. $\frac{1}{60}$ schwächer ist als die Hellig-
keit des umgebenden Grundes. Ein Auge, das diesen Kranz
bemerken würde, würde also in jenem Falle für den Helligkeits-
unterschied $\frac{1}{60}$ noch empfindlich sein. Masson construirte nun
mehrere Scheiben, auf denen der zum Theil geschwärzte Sector
 $\frac{1}{50}$, $\frac{1}{60}$, $\frac{1}{70}$ u. s. f. bis $\frac{1}{120}$ des Kreisinhaltes betrug, und
fand, dass bei schwacher Gesichtsschärfe ein relativer Unter-
schied von $\frac{1}{50}$ bis $\frac{1}{70}$, bei gewöhnlicher Sehkraft ein Unter-
schied von $\frac{1}{80}$ bis $\frac{1}{100}$, und bei gutem Sehvermögen ein solcher
von $\frac{1}{100}$ bis $\frac{1}{120}$ und darunter noch erkannt werde, und dass
die relative Unterschiedsempfindlichkeit bei Aenderung der Inten-
sität der Beleuchtung für dasselbe Individuum sich nicht ändere,
falls nur die Beleuchtung der Art sei, dass man in einem Octav-
band ohne Mühe lesen könne. Masson variirte die Helligkeit
der Papierscheibe, indem er die sie beleuchtende Lampe in ver-
schiedene Entfernungen brachte oder das Tageslicht benutzend
ebenso wie an hellen Stunden auch bei trübem Wetter oder nach
Sonnenuntergang operirte u. dergl. m. Bemerkenswerth ist, dass
Masson die Lichtstrahlen auch durch gefärbte Gläser hindurch-
gehen liess oder sich auch der Farben des Sonnenspectrums be-
diente und dabei die Grenze der Unterschiedsempfindlichkeit un-
abhängig von der Farbe der Helligkeit fand. Indessen erwähnt
er, einige Gläser hätten so viel Licht absorbirt, dass man den
Kranz nur mit Mühe habe wahrnehmen können. Ferner bemerkt
er, dass, wenn an Stelle des durch farbiges Licht erleuchteten,
weissen Papiers farbiges, durch natürliches Licht beleuchtetes
Papier angewandt worden wäre, die Unterschiedsempfindlichkeit
immer etwas kleiner und mit der Farbe des Papiers ein wenig
veränderlich erschienen sei; doch sei er mit rothen und blauen
Papieren an die sonst erreichten Grenzen sehr merklich heran-
gekommen.

Was die Genauigkeit der Ausführung dieser Versuche be-

trifft, so haben wir nach der in mancher Beziehung nachahmenswerthen Sorgfalt, mit der Masson bei seinen elektrisch-photometrischen Untersuchungen verfuhr, anzunehmen, dass auch bei diesen Versuchen alle Fehlerquellen, so zu sagen, physikalischer Natur möglichst vermieden worden sind. Auch den Einfluss physiologischer und psychologischer Momente hat Masson wohl beachtet. Aubert (a. a. O. S. 64 f.) weist jedoch auf die oben von uns erwähnte Bemerkung Masson's hin, dass einige gefärbte Gläser eine solche Quantität Lichtes absorbirt hätten, dass man mit Mühe den Kranz habe erkennen können. „Masson ist also“, so fährt Aubert fort, „erst beim Sehen durch das rothe Glas zu der eigentlichen Grenze der Unterschiedsempfindlichkeit gekommen und ist im Uebrigen so zu Werke gegangen: Er hat die Scheibe, deren Kranz $\frac{1}{120}$ dunkler war, bei jenen verschiedenen Beleuchtungen beobachtet und immer den Kranz erkannt. Das ist bei mir ebenso. Aber Masson hat übersehen, dass der Kranz mit erheblich verschiedener Deutlichkeit gesehen wird, und sich keineswegs bei jenen Beleuchtungen an der Grenze der Unterschiedsempfindlichkeit befunden; er hat folglich nicht die Grenze der Unterschiedsempfindlichkeit bestimmt, sondern nur das ganz richtige Factum, dass die Grenze bei den angegebenen Helligkeiten nicht unter $\frac{1}{120}$ sinkt.“ Aubert irrt hier insofern, als er mit Bestimmtheit den Werth $\frac{1}{120}$ als den für Masson eben merklichen Unterschied angiebt. Masson sagt von sich selbst: „Ainsi je vois aussi distinctement la couronne au $\frac{1}{100}$ soit que j'éclaire le disque par la lumière naturelle, soit que j'emploie des rayons colorés.“ Er bemerkt im Allgemeinen, dass bei gutem, mehr als gewöhnlichem Sehvermögen ein Unterschied von $\frac{1}{100}$ bis $\frac{1}{120}$ wahrgenommen werden könne; dass er selbst eine solche Sehkraft besitze, äussert er nirgends. Doch will es auch uns scheinen, als habe sich Masson des zwar einfachen, aber wenig zuverlässigen Verfahrens bedient, die verschiedenen Intensitätsgrade des mehr als eben merklichen Contrastes, mit welchem sich bei Anwendung einer und derselben Papierscheibe der dunkle Kranz in den verschiedenen Fällen von dem umgebenden Grunde abhob, mit einander zu vergleichen und aus ihrer scheinbaren Gleichheit oder Ungleichheit auf das Verhalten der Unterschiedsempfindlichkeit in den verschiedenen Beobachtungsfällen zurückzuschliessen. Ausser der von Aubert angeführten Aeusserung weisen auch noch andere Auslassungen Masson's auf ein solches

Verfahren dieses Forschers hin, so z. B. auch die oben von uns angeführte: „Ainsi je vois aussi distinctement etc.“ Auch wurde Masson dadurch, dass ihm nur 8 Papierscheiben zur Verfügung standen, auf denen der zum Theil geschwärzte Sector $\frac{1}{50}$, $\frac{1}{60}$ u. s. f. bis $\frac{1}{120}$ betrug, nothwendig verhindert, die Methode der eben merklichen Unterschiede mit hinreichender Genauigkeit zur Anwendung zu bringen, und fast genöthigt, sich auf eine Vergleichung successiv gegebener, übermerklicher Unterschiede einzulassen. Wenn ferner Masson bemerkt, er habe die Helligkeit der weissen Papierscheibe verändert, indem er die Entfernung der beleuchtenden Lampe variirt, bei trübem Wetter, nach Sonnenuntergang. operirt habe u. s. w., so ist überhaupt auf derartige Mittheilungen nicht viel zu geben, wenn nicht zugleich angegeben wird, innerhalb welcher Grenzen die absolute Helligkeit während einer und derselben Versuchsreihe für eine und dieselbe Versuchsperson bei sonst unveränderten Versuchs-umständen variirt worden sei. Aus Versuchen, die zu verschiedenen Zeiten an verschiedenen Personen unsystematisch und ohne volle Genauigkeit angestellt werden, lässt sich offenbar kein sicheres Resultat gewinnen.

§ 45.

Die Unbequemlichkeiten und Ungenauigkeiten, welche für Masson daraus erwachsen mussten, dass er auf eine geringe Anzahl in verschiedener Breite geschwärzter Papierscheiben angewiesen war, die hinter einander auf einer Kupferscheibe befestigt wurden, lassen sich leicht vermeiden, wenn man sich des von Helmholtz (Ph. O. S. 314 f.) zur Anwendung gebrachten Versuchsverfahrens bedient. Dieses Verfahren ist folgendes: „Man zieht längs eines oder zweier Radien (einer weissen Rotationsscheibe) einen unterbrochenen Strich, dessen Theile alle die gleiche Dicke haben. Bei der Rotation der Scheibe geben diese schwarzen Striche graue Kreise auf der Scheibe. Ist d die Breite der Striche, r die Entfernung eines Punktes eines schwarzen Striches vom Mittelpunkte der Scheibe, so ist die Helligkeit h des grauen Streifens, der bei der Rotation entsteht, wenn wir die Helligkeit der Scheibe gleich 1 setzen, $h = 1 - \frac{d}{2r\pi}$. Die grauen Streifen unterscheiden sich also desto weniger von

der Helligkeit der Scheibe, je grösser r ist; die inneren sind dunkler, die äusseren heller, und man erhält eine Folge sehr zarter Abstufungen. Beim Versuche hat man nur zu untersuchen, wie weit die Ränder der grauen Streifen noch zu erkennen sind. Man erkennt sie besser, wenn man mit dem Blicke zu den verschiedenen Stellen eines Kreises hin- und hergeht, als wenn man eine Stelle fixirt; im letzteren Falle verschwinden die schwächeren Kreise schnell wieder, auch wenn man sie vorher gesehen hat. Doch erkennt man sie gewöhnlich auch nicht gleich beim ersten Hinsehen nach der Scheibe, sondern man muss letztere erst eine Zeit lang aufmerksam betrachten. Uebrigens muss man darauf achten, dass die Scheibe schnell genug umläuft, dass die grauen Kreise ganz continuirlich erscheinen und nicht flimmern. Im letzteren Falle erkennt man auch die schwächeren Kreise, weil dann bei jedem einzelnen Vorübergang eines schwarzen Streifens der Lichteindruck sich so weit zu schwächen Zeit hat, dass man die Verdunkelung bemerkt.“ Die nach diesem Verfahren angestellten Beobachtungen Helmholtz's treten bestätigend zu den Versuchen Aubert's u. A. hinzu, indem sich aus ihnen, im Gegensatze zu den Angaben Bouguer's und Masson's, gleichfalls ergibt, dass die relative Unterschiedsempfindlichkeit auch innerhalb der mittleren Helligkeitsgrenzen je nach der absoluten Lichtstärke eine etwas verschiedene ist. Helmholtz konnte an hellen Sommertagen am Fenster bei Bewegung des Blickes noch einen Rand scharf sehen, wo der Unterschied der Helligkeit $\frac{1}{133}$ war, verwaschen erschien ihm noch ein Rand von $\frac{1}{150}$, auf Augenblicke sogar ein solcher von $\frac{1}{167}$ Unterschied. Etwas mühsamer erschienen ihm die Wahrnehmungen bis zu einem Unterschiede von $\frac{1}{150}$ bei directer Sonnenbeleuchtung, was auf die Abnahme der Unterschiedsempfindlichkeit bei sehr hoher Steigerung der Helligkeit hinweist, und in der Mitte des Zimmers konnte er zu derselben Zeit nur Ränder von $\frac{1}{117}$ Unterschied wahrnehmen, den von $\frac{1}{133}$ nur selten und unbestimmt.

Auch Delboeuf (a. a. O. S. 77 ff.) hat eine Anzahl von Beobachtungen mittels einer Rotationsscheibe angestellt, auf welcher ein oder mehrere oft unterbrochene, schwarze, radiale Striche angebracht waren. Er suchte die Entfernungen zu ermitteln, die man einer die rotirende Scheibe beleuchtenden Kerze geben müsse, damit bestimmte Helligkeitsunterschiede auf dieser

Scheibe eben merklich oder eben unmerklich seien, und fand hierbei Folgendes. Sollte ein dunkler Kranz, dessen relativer Helligkeitsunterschied von dem umgebenden Grunde c. $\frac{1}{63}$ betrug, noch eben sichtbar oder eben unmerkbar sein, so musste der Abstand der Kerze im Mittel 1,14 Meter betragen. Dieser Abstand vergrösserte sich jedoch allmählich, wenn man den Punkt der Ebenmerklichkeit oder des Verschwindens für immer grössere relative Helligkeitsunterschiede herbeizuführen suchte, so dass schliesslich die Entfernung der Kerze im Mittel 3,48 Meter betragen musste, wenn der relative Unterschied $\frac{1}{18}$ eben merklich oder eben unmerklich sein sollte. Näher gehen wir auf diese Versuche Delboeuf's nicht ein, da Delboeuf selbst die Genauigkeit derselben nicht sehr hoch anschlägt, theils wegen der veränderlichen Leuchtkraft der benutzten Kerze, theils weil die schwarzen, radialen Striche thatsächlich weder ein ganz gleichförmiges Schwarz noch genau die vorausgesetzten Dimensionen besessen hätten. Auch ist es ein Missstand des von Helmholtz und Delboeuf angewandten Versuchsverfahrens, der eine ganz genaue Bestimmung der relativen Grösse des eben merkbaren oder eben unmerklichen Unterschiedes erschwert, dass jedes einzelne Stück des schwarzen, radialen Striches nicht überall dieselbe Winkelbreite besitzt und in Folge dessen der entsprechende dunkle Kranz der rotirenden Scheibe in radialer Richtung von allmählich abnehmender Helligkeit ist.

§ 46.

Weit umständlicher und mühsamer als das Verfahren Helmholtz's und selbst das Masson's, aber auch eine grössere Genauigkeit der Resultate ermöglichend ist das Versuchsverfahren, dessen sich Aubert (a. a. O. S. 70 ff.) bei Anwendung der rotirenden Scheiben bediente. Bekanntlich gilt der Talbot-Plateau'sche Satz, mit Hilfe dessen man gewöhnlich das Helligkeitsverhältniss des dunklen Kranzes einer Rotationsscheibe zu dem umgebenden, helleren Grunde berechnet, genau genommen nur unter der Voraussetzung, dass ein schwarzer Sectorabschnitt gar kein Licht reflectire. Dies ist aber, wie längst bekannt und constatirt, nicht der Fall. Um daher möglichst genaue Resultate zu erhalten, unterwarf Aubert das Helligkeitsverhältniss, in dem eine Scheibe

von gewissem schwarzen Papier zu einer Scheibe von bestimmtem weissen Papier stand, einer sorgfältigen photometrischen Messung, und zwar fand er, dass die weisse Scheibe nur 57mal heller war als die schwarze. Solcher schwarzen und weissen Scheiben stellte er nun je 5 her, klebte auf die ersteren weisse Sectorabschnitte von $\frac{1}{2}^{\circ}$, 1° , $1\frac{1}{2}^{\circ}$, 2° und $2\frac{1}{2}^{\circ}$ auf, versah jede der schwarzen und der weissen Scheiben mit einem radiären Schlitz, und schob nun bei dem Versuche eine der schwarzen Scheiben mit einer der weissen Papierscheiben so in einander, dass die weisse Scheibe einen Sector der schwarzen Scheibe deckte. Wurden nun die beiden Scheiben in solcher Lage auf einer Unterlage fest mit einander befestigt und in sehr schnelle Umdrehung versetzt, so erschien die Rotationsscheibe in einem Grau, das von der Breite des über die schwarze Scheibe geschobenen Sectors der weissen Scheibe abhing, und liess einen helleren Kranz erkennen, der von dem weissen, auf die schwarze Scheibe aufgeklebten (von dem weissen Sector nicht mit bedeckten) Sectorabschnitte von $\frac{1}{2}^{\circ}$ oder 1° oder $1\frac{1}{2}^{\circ}$ u. s. w. herrührte. Durch Abänderung der Breite des Sectors der weissen Scheibe, der einen Theil der schwarzen Scheibe überdeckte, liess sich nun die Helligkeit des grauen oder weissen Grundes und mithin der relative Unterschied des helleren Kranzes von dem umgebenden Grunde so lange variiren, bis dieser Unterschied ein eben merklicher war, und die Grösse des eben merklichen Unterschiedes berechnete sich dann, unter Berücksichtigung des obigen Helligkeitsverhältnisses zwischen dem schwarzen und dem weissen Papiere, mit grosser Genauigkeit aus der Winkelbreite des auf die schwarze Scheibe aufgeklebten weissen Sectorabschnittes und aus der Breite des über die schwarze Scheibe geschobenen Sectors der weissen Scheibe. Folgende Tabelle enthält die Resultate dreier nach diesem Verfahren angestellter Versuchsreihen Aubert's. Die in senkrechter Ebene rotirenden Scheiben waren bei diesen Beobachtungen $2\frac{1}{2}$ Fuss vom Fenster entfernt, und die absolute Helligkeit wurde durch Abänderung der Winkelbreite des über die schwarze Papierscheibe geschobenen weissen Sectors variirt, war aber ausserdem natürlich von der Tageshelle abhängig, bei welcher die Rotationsscheibe betrachtet wurde. Die Helligkeitseinheit ist daher für die 3 Versuchsreihen der Tabelle nicht eine und dieselbe, sondern für die erste Versuchsreihe, die bei grauem Himmel ausgeführt wurde, beträchtlich

geringer als für die beiden anderen, bei hellem Himmel angestellten Versuchsreihen.

Tabelle V.
Relative Werthe d des eben merklichen Unterschiedes
nach Aubert's Scheibenversuchen.

Versuchsreihe I		Versuchsreihe II		Versuchsreihe III	
Helligkeit	d	Helligkeit	d	Helligkeit	d
1	$\frac{1}{121}$	1	$\frac{1}{158}$	1	$\frac{1}{147}$
2,45	$\frac{1}{151}$	2,35	$\frac{1}{188}$	2,54	$\frac{1}{186}$
4	$\frac{1}{180}$	2,98	$\frac{1}{158}$	3,49	$\frac{1}{177}$
5,49	$\frac{1}{166}$	3,86	$\frac{1}{153}$	4,24	$\frac{1}{155}$

Was in dieser Tabelle hauptsächlich von Interesse ist, ist der Umstand, dass nach Versuchsreihe II und III das Maximum der relativen Unterschiedsempfindlichkeit nicht etwa einem beträchtlichen Bereiche von Intensitäten zugehört, sondern die Curve der Unterschiedsempfindlichkeit vielmehr sofort oder sehr bald wieder abfällt, sobald sie ihr Maximum erreicht hat. Aubert stellte übrigens noch verschiedene Versuche nach dem angegebenen Verfahren an, aus denen gleichfalls hervorgeht, dass es thatsächlich nur ein sehr geringes Gebiet von Lichtintensitäten ist, innerhalb dessen die Empfindlichkeit für Helligkeitsunterschiede als merklich constant angenommen werden darf, und dass die Unterschiedsempfindlichkeit, sobald sie ihr Maximum erreicht hat, bei weiterer Steigerung der absoluten Lichtstärke auch sehr bald wieder merklich abnimmt.

§ 47.

Mit wenigen Worten möchten wir hier noch auf das Verhältniss eingehen, das zwischen den im vorigen Capitel besprochenen Schattenversuchen und den Versuchen mit rotirenden Scheiben oder vielmehr zwischen den diesen Versuchen entsprechenden beiden Verfahrungsweisen besteht. Aubert bemerkt, die Schattenversuche hätten vor den Scheibenversuchen den Vorzug grösserer Bequemlichkeit und Schnelligkeit voraus, die Scheibenversuche hingegen erforderten weniger Raum und könnten

bei den höchsten und niedrigsten Lichtintensitäten angestellt werden. Welche von den beiden Verfahrensweisen die zuverlässigere sei, wagt er nicht zu entscheiden; Subjectivität des Urtheils und unbemerkbare Schwankungen der Helligkeit seien beiden gemeinsame Fehlerquellen. Wir möchten hierzu bemerken, dass unbemerkbare Schwankungen der Helligkeit bei Schattenversuchen im Allgemeinen doch von ganz anderem Einflusse sind als bei Scheibenversuchen. Aendert sich bei Versuchen letzterer Art die Helligkeit der die Scheibe beleuchtenden Lichtquelle, so wird das Verhältniss der beiden Componenten des Lichtunterschiedes dadurch nie geändert. Bei Schattenversuchen hingegen wird bei Aenderung der Lichtstärke der einen beider Lichtquellen nicht nur die absolute Intensität, sondern auch das Verhältniss der einen Helligkeit zur andern geändert; und demgemäss wird auch die Genauigkeit der Schattenversuche durch unbemerkbare Schwankungen der Intensitäten der beiden Lichtquellen in ganz anderem Maasse beeinträchtigt, als die Genauigkeit der Scheibenversuche durch Helligkeitsänderungen der Lichtquelle Abbruch erleidet. Ferner kommt die Fehlerquelle, die für Schattenversuche daraus entspringt, dass eine gewisse Quantität des von den beiden Lichtquellen ausgehenden Lichtes an den Wänden und Gegenständen des Zimmers reflectirt wird und den relativen Unterschied der beiden zu vergleichenden Helligkeiten der weissen Fläche in nicht messbarer Weise beeinflusst, für Scheibenversuche höchstens insofern in Betracht, als in Folge jener Lichtreflexion die Angabe der Beleuchtungsstärke, bei welcher man die rotirende Scheibe betrachtet habe, etwas ungenau ausfällt. Ausserdem bleibt bei Scheibenversuchen die Abstufung des Ueberganges von der einen der beiden zu vergleichenden Helligkeiten zur anderen immer dieselbe und zwar die für die Unterscheidung der beiden Helligkeiten günstigste, nämlich, von der Irradiation des Lichtes im Auge abgesehen, gleich 0, während bei Schattenversuchen die Breite des Halbschattens je nach der Entfernung und Ausdehnung der einen Lichtquelle eine verschiedene zu sein pflegt und unter Umständen die Unterscheidbarkeit der beiden Helligkeiten merklich beeinträchtigen kann. Kurz, es will uns scheinen, als machten sich gewisse Fehlerquellen, die bei den Schattenversuchen unter Umständen sehr in Betracht kommen und auch bei grosser Sorgfalt nicht ganz vermeidbar sind, bei den Scheibenversuchen gar

nicht oder wenigstens nur in weit geringerem Maasse geltend, und als liessen sich daher durch möglichst sorgfältige Scheibenversuche zuverlässigere und genauere Resultate erzielen als durch mit entsprechender Sorgfalt angestellte Schattenversuche, vorausgesetzt, dass die strenge Gültigkeit des Talbot-Plateau'schen Satzes als hinreichend erwiesen gelten darf.*)

4. Capitel.

Masson's Versuche bei instantaner Beleuchtung rotirender Scheiben.

§ 48.

Eine mit abwechselnden weissen und schwarzen Sektoren gleicher Breite versehene Rotationsscheibe erscheint im Falle grosser Schnelligkeit ihrer Umdrehungen bei andauernder Beleuchtung einfarbig und grau; durch einen elektrischen Funken hinreichender Stärke erleuchtet, lässt sie hingegen die verschiedenen hellen Sektoren erkennen. Wenn aber eine solche Scheibe durch andauernde Beleuchtung und plötzlich noch ausserdem durch einen elektrischen Funken erhellt wird, so wird die Wahrnehmbarkeit der hellen und dunklen Sektoren davon abhängen, wie gross der relative Helligkeitszuwuchs ist, den die weissen Sektoren in Folge der elektrischen Beleuchtung erhalten. Sollte sich bei den im Folgenden zu besprechenden Untersuchungen Masson's herausgestellt haben, dass der augenblickliche Helligkeitsüberschuss der weissen Sektoren, welcher erforderlich ist, um dieselben eben erkennbar zu machen, in einem constanten Verhältnisse zu der andauernden Helligkeit der rotirenden Scheibe steht, so würde in diesem Ergebnisse offenbar eine Interesse bietende Bestätigung des Weber'schen Gesetzes zu erblicken sein.

Der Versuchsapparat, dessen sich Masson bei seinen mit ausserordentlicher Sorgfalt angestellten elektrisch-photometrischen

*) Auf Grund eigener Versuche bezweifelt A. Fick (Reichert's Arch. von 1863, S. 739) die strenge Gültigkeit des Talbot-Plateau'schen Satzes; wogegen Aubert (a. a. O., S. 351) in Hinblick auf die Versuche von Plateau und Helmholtz an diesem Satze festhält.

Untersuchungen*) bediente, setzte sich in der Hauptsache aus einer elektrischen Maschine, Condensatoren, Mikrometer behufs Messung der Distanzen des Ueberspringens des Funkens, Conductoren von besonderer Art und Form, dem eigentlichen Photometer und einem Apparate zusammen, der dazu diente, die Lichtquelle der andauernden Beleuchtung einzuschliessen. Der eigentliche Photometer bestand im Wesentlichen aus einer Scheibe dicken Papiere von 8 Centimeter Durchmesser, auf welcher abwechselnd und von gleicher Dimension 60 schwarze und weisse Sektoren angebracht waren, und welche, ebenso wie die Rotations-scheiben der früher erwähnten Versuche Masson's, mit Hülfe einer kupfernen Unterlage mittelst eines Uhrwerkes in sehr schnelle Umdrehungen versetzt wurde. Die andauernde Beleuchtung der Photometerscheibe ging von einer sehr guten, in einem Kasten von geschwärztem Holze eingeschlossenen Lampe aus. Die Achse der mikrometrisch messbaren Bahn, auf welcher die Lampe bewegt werden konnte, stand senkrecht auf der in gleicher Weise messbaren Bahn, auf welcher der elektrische Funke der Scheibe näher gebracht wurde, und die Ebene der photometrischen Scheibe bildete mit jeder dieser 2 Linien einen Winkel von 45° . Das Centrum der Photometerscheibe, das der Lampenflamme und der elektrische Funke lagen in derselben Horizontalebene, und das Auge des Beobachters betrachtete die Scheibe durch eine innen und aussen geschwärzte Röhre, deren Achse senkrecht auf der Ebene der Scheibe stand.

Seine Untersuchungen darüber, welche Intensität das Licht des elektrischen Funkens unter verschiedenen Umständen, z. B. bei verschiedener Oberfläche oder Dicke der Condensatoren oder bei verschiedenen Explosionsweiten, besitze, stellte nun Masson in der Weise an, dass er die das andauernde Licht liefernde Lampe in eine meist unbestimmte Entfernung von der Photometerscheibe brachte und dann dem den elektrischen Funken mit sich führenden Schlitten einen solchen Abstand von der Scheibe gab, dass die Sektoren derselben sehr sichtbar waren. Dann entfernte er, indem er fortfuhr, Funken springen zu lassen, allmählich jenen Schlitten, bis die Scheibe fast überall ganz gleiche Helligkeit besass und nur noch am Vereinigungspunkte ihrer Sektoren gewisse dunkle Linien sichtbar waren, die von

*) Annales de chimie et de physique, 3. Sér., Tom. XIV, XXX, XXXI.

dem Contraste der Helligkeit und vielleicht auch der Farbe der weissen und schwarzen Sektoren herrührten. Galt es also z. B., den Einfluss der Explosionsweite auf die Lichtstärke des Funkens zu bestimmen, so liess Masson die Entfernung der Lampe von der Photometerscheibe und alle anderen Beobachtungsumstände während der Versuchsreihe constant und bestimmte nur die Entfernungen von dem Photometer, welche dem elektrischen Funken bei verschiedenen Explosionsweiten gegeben werden mussten, damit jene dunklen Streifen auf der rotirenden Scheibe noch eben sichtbar waren. Aus diesen Entfernungen, die jedes Mal mit Hülfe eines hinzugeholten Lichtes abgelesen wurden, berechnete sich dann leicht das Gesetz, nach dem die Helligkeit des Funkens von der Explosionsweite abhängt.

In Abweichung von dem Principe der meisten anderen Photometer, bei deren Anwendung es darauf ankommt, die eine von 2 zu vergleichenden Helligkeiten in messbarer Weise so weit abzuschwächen oder zu verstärken, bis sie der anderen ganz gleich erscheint, handelte es sich also für Masson bei Benutzung seines elektrischen Photometers darum, durch messbare Vornahmen, wie Aenderungen des Abstandes vom Photometer, die auf diesen ausgeübte Lichtwirkung des elektrischen Funkens in allen Beobachtungsfällen in dem Maasse abzuändern, dass die den weissen Sektoren durch den Funken zukommende Beleuchtung eben merkliche Unterschiede der Helligkeit der Photometerscheibe bewirkte, deren andauernde Erhellung durch das Lampenlicht während jeder Versuchsreihe constant blieb. Es liegt daher allerdings nahe, von diesen Versuchen Masson's eine Bestätigung oder Nichtbestätigung des Weber'schen Gesetzes zu erwarten; und Fechner (Ps. I, S. 153), der das Versuchsverfahren Masson's im Allgemeinen angiebt, bemerkt auch thatsächlich, Versuche nach diesem Verfahren seien von Masson zu anderen Zwecken, als das Weber'sche Gesetz zu bewähren, in grosser Abänderung angestellt worden, dabei aber die Uebereinstimmung ihrer Ergebnisse mit den Resultaten der früheren (in § 44 besprochenen) Scheibenversuche Masson's constatirt worden. Allein eine kurze Uebersetzung zeigt, dass photometrische Versuche der oben angegebenen Art als Grundlage ihrer Triftigkeit der Gültigkeit des Weber'schen Gesetzes nicht bedürfen, sondern bloss dies zur Voraussetzung haben, dass der eben merkliche instantane Lichtzuwuchs

einer constanten Helligkeit für einen und denselben Beobachter während der Dauer einer Versuchsreihe seine Grösse nicht ändere; und, wie wir uns hinlänglich überzeugt, haben thatsächlich — mit sehr geringen, im Folgenden zu besprechenden Ausnahmen — jene „in grosser Abänderung angestellten“ Versuche Masson's, welche den Einfluss der Grösse, Dicke und Form der Condensatoren, der Explosionsweite, der Natur der Pole der Explosion, der Dichtigkeit und Art der durch den Funken erhitzten Luftart u. dergl. m. auf die Lichtwirkung des elektrischen Funkens festzustellen und näher zu bestimmen suchten, betreffs unserer Unterschiedsempfindlichkeit nichts ergeben als höchstens dies, dass dieselbe nach einiger Uebung während der Dauer einer Versuchsreihe für eine constante Helligkeit sehr gleichmässig bleiben kann.

§ 49.

Gehen wir nun etwas näher auf diejenigen Mittheilungen Masson's ein, welche Fechner (Ps. I, S. 155) ganz besonders dafür anführt, dass nach Masson's Versuchen das Weber'sche Gesetz auch für instantane Helligkeitszuwüchse gültig sei. Nachdem Masson von seinen in § 44 von uns besprochenen Scheibenversuchen mit andauernden Helligkeitsunterschieden berichtet hat, fährt er (a. a. O., S. 152 f.) folgendermaassen fort:

„Dans les essais précédents, l'observateur ayant l'oeil fixé sur le disque pendant un temps plus ou moins long, nous ne pouvons affirmer que les limites de sensibilité, ainsi déterminées, resteront les mêmes, quand l'éclairement sera instantané. Je me suis assuré par le moyen suivant que, dans ce dernier cas, la limite de sensibilité éprouvait peu de variations. Après avoir éclairé les secteurs du photomètre par une lampe Carcel, j'ai placé une lumière électrique à la distance limite, puis j'ai fait varier, soit la distance de l'étincelle, soit celle de la lampe, de manière à rendre très-sensibles les secteurs. J'ai opéré pour diverses intensités d'éclairement. En comparant ainsi la variation de distance nécessaire pour produire l'apparence des secteurs à la distance absolue des lumières, j'ai trouvé, et cela résulte aussi des expériences que je citerai plus loin, qu'on pouvait prendre pour limite de sensibilité dans mes expériences photométriques les nombres obtenus pour les lumières fixes.“

Fechner lässt sich durch diese allerdings nicht sehr klar gehaltene Auslassung zu der Annahme verleiten, Masson habe

constatirt, dass der eben merkliche instantane Zuwuchs zu einer andauernden Lichtintensität annähernd dieselbe relative Grösse besitze wie der eben merkliche Unterschied zweier permanenter Helligkeiten. Dies kann aber Masson, wie eine leichte Ueberlegung darthut, ganz unmöglich constatirt haben, weil er das Helligkeitsverhältniss zwischen dem elektrischen Funken und der permanenten Lichtquelle absolut nicht kannte und überhaupt nicht kennen konnte, da man eine instantane Helligkeit offenbar nur dann mit einer permanenten Helligkeit vergleichen kann, wenn man erstere in eine permanente oder letztere in eine instantane Helligkeit verwandelt; was beides im vorliegenden Falle nicht anging.

Bei näherer Erwägung scheint es uns, als ob sich die Sache in Wirklichkeit folgendermaassen verhielte. Masson hatte bei seinen früheren Scheibenversuchen gefunden, dass der Unterschied zweier Helligkeiten, welche auf ihn den Eindruck gleicher Intensität machten, im Allgemeinen einen nur geringen Bruchtheil der einen beider Helligkeiten betrage. Um nun auch zu erfahren, welchen Grad der Genauigkeit die Beobachtungen an seinem elektrischen Photometer besässen, brachte er die Lampe oder den elektrischen Funken in eine bestimmte Entfernung von der Photometerscheibe und verschob nun die andere Lichtquelle so lange, bis die Sektoren der Scheibe eben sichtbar waren. Diesen Versuch stellte er zu öfter wiederholten Malen und unter Benutzung verschiedener Beleuchtungsstärken an, so dass er mehrere Reihen von Beobachtungswerthen erhielt, welche die Entfernungen angaben, in die er bei gewissen Abständen und Helligkeiten der Lampe oder des elektrischen Funkens die andere Lichtquelle hatte bringen müssen, um die Wahrnehmbarkeit der Sektoren herbeizuführen. Indem er nun die Verschiedenheit der Entfernungen, in die er bei constanter Stellung und Helligkeit der Lampe oder des elektrischen Funkens die andere Lichtquelle hatte bringen müssen, mit der absoluten (mittleren) Entfernung der Lichtquelle vom Photometer verglich („en comparant ainsi la variation de distance nécessaire pour produire l'apparence des secteurs à la distance absolue des lumières“), fand er, dass der relative Unterschied zweier instantaner Helligkeiten, die bei indirecter Vergleichung vermittelt des elektrischen Photometers gleich intensiv erschienen, im Allgemeinen nicht grösser voraussetzen sei als der relative Unterschied zweier andauernder

Helligkeiten, welche bei directer Vergleichung mit einander für gleich intensiv gehalten würden.

Verschiedene Umstände weisen darauf hin, dass die obige Auslassung Masson's in der von uns soeben angedeuteten Weise zu verstehen sei. So ist auch die Thatsache, dass Masson am Schlusse obiger Auslassung bemerkt, dass später zu erwähnende Beobachtungen das gleiche Resultat ergeben hätten, mit der soeben angedeuteten Auffassung seiner obigen Mittheilung im besten Einklange. Denn Masson kommt thatsächlich an einer späteren Stelle (a. a. O., S. 159) noch einmal auf die Verschiedenheit der einzelnen Einstellungen, die er bei constanter Entfernung der Lampe oder des elektrischen Funkens der anderen Lichtquelle hatte geben müssen, um die Sichtbarkeit der Sektoren herbeizuführen, und auf das Verhältniss der Maximaldifferenz dieser Einstellungen zur mittleren Entfernung der Lichtquelle vom Photometer zu sprechen; und zwar war auch nach dieser Auslassung das Verhältniss, in welchem die Maximaldifferenz der Abstände vom Photometer, die dem elektrischen Funken bei constantem Lampenabstande ertheilt werden mussten, zum mittleren Werthe dieser Abstände stand, annähernd unabhängig von der absoluten Intensität der Beleuchtung der Photometerscheibe.

Masson hat also thatsächlich Versuche angestellt, bei denen er die relative Grösse des Fehlers zu ermitteln suchte, der für eine einzelne Einstellung des elektrischen Funkens oder der Lampe bei seinen elektrisch-photometrischen Untersuchungen zu befürchten war. Nach seiner obigen Auslassung und der soeben angeführten Stelle war das Resultat dieser Versuche, dass die Maximaldifferenz mehrerer instantaner Lichtintensitäten, die sämmtlich als eben merkliche Zuwüchse zu einer und derselben permanenten Helligkeit befunden werden, zum Mittel aller dieser instantanen Helligkeiten in einem von der absoluten Intensität dieser Helligkeiten nahezu unabhängigen und annähernd constanten Verhältnisse steht. Geht nun das Maximum der Unterschiede, die zwischen mehreren instantanen eben merklichen Helligkeitszuwüchsen einer und derselben permanenten Lichtintensität bestehen, dem Mittelwerthe eben dieser instantanen Helligkeitszuwüchse proportional, so lässt sich auch darauf schliessen, dass diejenige Grösse, um welche die instantanen Lichtzuwüchse von ihrem Mittelwerthe im Mittel abweichen, also kurz die mittlere Abweichung vom Mittelwerthe der eben

merklichen instantanen Lichtzuwüchse, eben diesem letzteren Mittelwerthe proportional sei. Die Versuche, auf welche sich Masson in der oben wiedergegebenen Auslassung bezieht, besitzen demnach allenfalls insofern ein gewisses Interesse für uns, als sie zu ergeben scheinen, dass die mittlere Abweichung vom Mittelwerthe des eben merklichen instantanen Helligkeitszuwuchses sich bei variabler absoluter Lichtstärke analog verhält wie dieser Mittelwerth selbst, und insofern sie demgemäss nach § 29 und § 30 ebenso wie Volkmann's angeblich nach der Methode der mittleren Fehler angestellte Augenmaassversuche darauf hinweisen, dass die von Fechner schlechthin vorausgesetzte Proportionalität des Präcisionsmaasses und der absoluten Unterschiedsempfindlichkeit, wenigstens bei variabler absoluter Reizstärke und sonst unverändert bleibenden Versuchsumständen, mit mehr oder weniger Annäherung bestehe. Näher gehen wir auf jene Versuche Masson's nicht ein. Wir sind betreffs derselben in mehrfacher Beziehung zu wenig unterrichtet, als dass wir ihnen viel Gewicht beilegen dürften; und wir hätten dieselben wegen der Mangelhaftigkeit der nicht einmal ganz mit einander übereinstimmenden Mittheilungen Masson's kaum erwähnt, wenn nicht Fechner der Auslassung Masson's, die sich auf jene Versuche bezieht, einiges Gewicht beigelegt, sie in der oben angegebenen Weise missverstanden und uns dadurch genöthigt hätte, auf jene Mittheilungen Masson's näher einzugehen.

§ 50.

Wenn nun auch gerade diejenigen der elektrischen Lichtversuche Masson's, welche Fechner insbesondere für das Weber'sche Gesetz anführt, in keiner näheren Beziehung zu diesem Gesetze stehen, und Masson überhaupt keinerlei Versuche in der Absicht angestellt hat, die Frage zu entscheiden, ob die Grösse des eben merklichen instantanen Helligkeitszuwuchses in einem constanten Verhältnisse zur absoluten Intensität der permanenten Helligkeit stehe, so steht doch zufällig das Ergebniss einiger, zu anderem Zwecke angestellter Versuchsreihen dieses Forschers in näherer Beziehung zu jener Frage.

Masson (a. a. O., S. 155 ff.) hält es nämlich für räthlich, durch Versuche noch einmal zu ermitteln, ob wirklich die Lichtwirkung eines instantanen Lichtes dem Quadrate seiner Ent-

fernung von der zu beleuchtenden Fläche umgekehrt proportional sei. Die hierauf bezüglichen Versuche stellte er in der Weise an, dass er die Abstände y zu bestimmen suchte, welche dem Funken von der Photometerscheibe gegeben werden müssten, um die Ebenmerklichkeit der Sektoren herbeizuführen, wenn sich die Lampe in verschiedenen Entfernungen z vom Photometer befinde. Es ist nun leicht zu sagen, wie sich die zu einander gehörigen Funken- und Lampenabstände y_1 und z_1 , y_2 und z_2 u. s. f. zu einander verhalten müssen, wenn sowohl das Weber'sche Gesetz als auch das obige Gesetz der Entfernungen für die Lichtwirkungen des elektrischen Funkens Geltung haben soll. Bedeuten i und J die constant bleibenden Lichtstärken des Funkens und des Lampenlichtes, so ist unter Voraussetzung des letzteren Gesetzes der eben merkliche instantane Helligkeits-

überschuss der weissen Sektoren proportional zu $\frac{i}{y^2}$ und die den schwarzen und weissen Sektoren der rotirenden Scheibe gemeinsame, permanente Helligkeit proportional zu $\frac{J}{z^2}$ zu setzen. Soll

ausserdem noch das Weber'sche Gesetz gelten, so muss offenbar $\frac{i}{y_1^2} : \frac{J}{z_1^2} = \frac{i}{y_2^2} : \frac{J}{z_2^2} = \frac{i}{y_3^2} : \frac{J}{z_3^2}$ u. s. f., mithin

$\frac{z_1}{y_1} = \frac{z_2}{y_2} = \frac{z_3}{y_3}$ u. s. f. = constans sein. Mit dieser Folgerung stimmen die Versuchsergebnisse Masson's ziemlich genau überein. Bei einer von Masson (a. a. O., S. 157) näher mitgetheilten, allerdings nicht sehr umfangreichen, Versuchsreihe bleibt das Verhältniss $\frac{z}{y}$ nicht ganz constant, sondern verringert sich etwas

bei Zunahme von z . Man könnte vermuthen, dass bei dieser Versuchsreihe bereits die obere Grenze der Beleuchtung überschritten worden sei, bei welcher sich mit zunehmender Lichtintensität eine Verminderung der relativen Unterschiedsempfindlichkeit einstellt, zumal in Hinblick darauf, dass Masson mit einer guten Carcel'schen Lampe operirte, deren Leuchtkraft nach Arago der Leuchtkraft von 7 Stearinkerzen gleich zu setzen ist. Masson selbst macht geltend, dass sich jene Abnahme des

Quotienten $\frac{z}{y}$ bei Vergrösserung von z hinlänglich erkläre,

wenn man berücksichtige, dass das elektrische Licht ein sehr kleines Volumen besitze, hingegen die Flamme der Lampe ein solches, das nicht mehr erlaube, die Intensitäten der von ihr ausgehenden Beleuchtungen der weissen Scheibe genau den Quadraten ihrer Entfernungen reciprok anzunehmen. Wir möchten noch beifügen, dass es von vorn herein sehr fraglich ist, ob die Erregungs-, bez. Empfindungszuwüchse, welche von verschiedenen, eine und dieselbe äusserst kurze Zeit andauernden, zu verschiedenen permanenten Helligkeiten hinzukommenden Lichtzuwüchsen hervorgerufen werden, bereits ganz dieselben Grössen besitzen und in ganz denselben Verhältnissen zu einander stehen, wie diejenigen Erregungs-, bez. Empfindungszuwüchse, welche jene instantanen Helligkeiten bei längerer Dauer ihrer Einwirkung bewirkt haben würden. Ist dies nicht ganz der Fall, so kann auch das Weber'sche Gesetz für instantane Helligkeitszuwüchse nicht in ganz gleicher Weise gültig sein wie für andauernde Lichtunterschiede.

Masson führte noch verschiedene andere Beobachtungsreihen aus, deren jede sich zwar nur auf ein sehr kleines Gebiet von Lichtintensitäten erstreckte, aber für das untersuchte Gebiet von Helligkeiten eine ziemlich genaue Gültigkeit des Weber'schen Gesetzes ergibt. Alle diese Versuche hat zwar Masson, wie schon erwähnt, nicht behufs Prüfung des Weber'schen Gesetzes, sondern vielmehr unter Voraussetzung strenger Gültigkeit dieses Gesetzes in der Absicht angestellt, um zu untersuchen, ob das bekannte Gesetz der Entfernungen auch für die momentanen Lichtwirkungen des elektrischen Funkens bestehe. Doch mit demselben Rechte, mit welchem Masson unter Voraussetzung des Weber'schen Gesetzes das Ergebniss dieser Versuche als eine Bestätigung des Gesetzes der Entfernungen auffasst, können wir umgekehrt unter Voraussetzung letzteren Gesetzes aus den Ergebnissen dieser Versuchsreihen Masson's folgern, dass das Weber'sche Gesetz auch für die instantanen Helligkeitszuwüchse mit gewisser Annäherung gelte.

5. Capitel.

Die Beziehung der Sterngrößen zu den Sternintensitäten.

§ 51.

Da die Eintheilung der Sterne in Größenklassen, deren Nummern bei abnehmender Helligkeit der Sterne zunehmen, zumeist nach dem Eindrucke geschah, den ihre Lichtstärke auf den Beobachter machte, und man hierbei die einzelnen, auf einander folgenden Klassen durch Helligkeitsunterschiede anscheinend gleicher Größe aus einander zu halten suchte, so scheint als eine Consequenz des Weber'schen Gesetzes vorauszusetzen zu sein, dass das photometrische Verhältniss zwischen den unmittelbar auf einander folgenden Sternklassen annähernd ein und dasselbe sei. Indessen in Hinblick darauf, dass die Grössenschätzungen mannigfaltigen, die Unbefangenheit und Genauigkeit der Sternvergleichen beeinträchtigenden Einflüssen unterworfen waren, darf man nicht mehr erwarten, als dass unter allen einfacheren Formeln, die sich mittels passender Bestimmung von ein paar Constanten für die Abhängigkeit der vorliegenden Grössenbestimmungen von den Sternintensitäten aufstellen lassen, die, wie es scheint, aus dem Weber'schen Gesetze ableitbare Formel: $G = -k \log. J + c$, wo G die Sterngröße und J die Sternintensität bedeutet, die bequemste und mit der grössten Annäherung gültige sei. Im Folgenden deuten wir zunächst kurz die Gründe an, in Folge deren es selbst unter Voraussetzung strengster Gültigkeit des Weber'schen Gesetzes nicht erlaubt ist, obige Formel mit mehr als nur geringer Annäherung gültig vorauszusetzen.

Erstens ist nicht zu übersehen, dass, wie Zöllner sich ausdrückt, das Attribut des Festen und Unveränderlichen, dem die Fixsterne ihren Namen verdanken, sich in Bezug auf ihre Helligkeit und Farbe ebenso als ein durchaus relatives zu erweisen scheint, wie dies bereits durch Entdeckung ihrer Eigenbewegung bezüglich des Ortes der Fall gewesen ist. Werden daher, wie dies meist der Fall ist, photometrische Bestimmungen mit Grössenschätzungen verglichen, die vor mehr oder weniger Jahren ausgeführt worden sind, so läuft man nothwendig Gefahr, bei Be-

rechnung der mittleren Intensität einer Grössenklasse solche Sterne mit zu benutzen, die in Wahrheit anderen Sternklassen zuzuweisen sind. Zweitens dürfte in Betracht kommen, dass die nach Ort und Zeit verschiedenen Zustände der Atmosphäre, die Höhen über dem Horizonte und ähnliche Verhältnisse, welche sowohl die Helligkeit des Grundes, auf dem die Gestirne uns erscheinen, als auch direct die Lichtstärke dieser selbst beeinflussen, die Richtigkeit der Grössenschätzungen mancher Sterne merklich beeinträchtigt haben können. Allerdings berücksichtigen die Astronomen die Einflüsse jener Umstände sehr wohl, aber so ganz lassen sich jene Einflüsse bei den Grössenschätzungen nicht eliminiren. Auch die beträchtliche Verschiedenheit der Färbungen der Sterne und die zeitlichen Aenderungen dieser Lichtfärbungen kommen hier in Betracht. Denn da — um an die Unterschiede der Farbenempfindlichkeiten verschiedener Beobachter nur kurz zu erinnern — aus den im 7. Capitel dieses Abschnittes zu besprechenden Experimentaluntersuchungen hervorgeht, dass verschiedenfarbige Helligkeiten, um für unsere Auffassung gleich merkliche Intensitätsunterschiede darzubieten, in verschiedenen Verhältnissen abgeschwächt oder gesteigert werden müssen, so wäre eine genaue Bewährung des Weber'schen Gesetzes durch die Intensitätsverhältnisse der auf einander folgenden Sterngrössenklassen höchstens nur dann zu erwarten, wenn die Sterne nach ihren Färbungen in mehrere Abtheilungen eingetheilt wären, deren jede sich betreffs der Intensitätsverhältnisse der Grössenklassen, in die sie selbst wiederum eingetheilt wäre, für sich allein in's Auge fassen liesse.*) Hierzu kommt der Einfluss des Contrastes, der sich bei der Grössenschätzung solcher Sterne merklich gemacht haben wird, die auf dem dunkeln Himmelsgrunde verhältnissmässig isolirt stehen, und der Umstand, dass die Helligkeit eines Sternes, der von vielen anderen hellen Gestirnen dicht umgeben ist, zumal wegen der Zerstreuung eines Theiles des aus seiner Umgebung stammenden Lichtes in den Augenmedien weniger eindringlich erscheint.**)

*) Neuerdings haben Secchi und H. C. Vogel die Sterne nach ihren Spectren, ersterer in 4, letzterer in 3 Klassen eingetheilt, die sich natürlich auch mehr oder weniger durch die verschiedenen Färbungen unterscheiden, welche die ihnen zugehörigen Sterne bei gewöhnlicher Beobachtung zeigen. — **) Dass der Helligkeitscontrast auf manche Grössenschätzungen

Ausser den bisher angeführten Umständen, die sich bei der Grössenschätzung mit unbewaffnetem Auge mehr oder weniger geltend machen mussten, sind nun noch andere Missstände zu erwähnen, die der Gebrauch der Fernröhre mit sich bringt. Allerdings ist seit Erfindung der teleskopischen Instrumente die Zahl der Grössenklassen von 6 bis selbst auf 20 gestiegen, aber gerade unter den Grössenbestimmungen der teleskopischen Sterne herrscht wenig Uebereinstimmung. So zählt, wie Humboldt (Kosmos, Cotta'sche Ausgabe von 1850, S. 101) erwähnt, Struve bisweilen zur 12ten bis 13ten Grössenklasse, was J. Herschel 18ter bis 20ter nennt. Grössenschätzungen, die bei verschiedener Objectivöffnung und verschiedener Vergrößerung ausgeführt worden sind, zeigen in ähnlicher Weise Abweichungen, wie die mit blossem Auge und die teleskopisch bestimmten Grössen nicht recht vergleichbar mit einander erscheinen. Der Einfluss des Gebrauches der Fernröhre auf die Grössenschätzung der Gestirne wird auch von Dawes (in den Monthly Notices of the Royal Astron. Society, Vol. XI, S. 187 ff.) hervorgehoben. Es müsse anerkannt werden, äussert er, dass es auch für einen und denselben Beobachter nicht sehr leicht sei, mit seiner eigenen Skala der teleskopischen Grössen immer in Einklang zu bleiben, zumal unter den mannigfaltigen Eindrücken bei verschiedenen Vergrößerungen. Dieser Nachtheil der Schätzung teleskopisch beobachteter Sterne entspringt unseres Erachtens hauptsächlich daraus, dass bei Anwendung bestimmter Vergrößerung und

gen einen nicht ganz unwesentlichen Einfluss ausgeübt habe, kann man daraus vermuthen, dass die complementären Färbungen vieler Doppelsterne nach J. Herschel und Zöllner (Photometrie des Himmels, S. 73) vorzugsweise nur subjectiver Natur und zwar in dem Farbencontraste begründet sind. L. Seidel (Resultate photometrischer Messungen von 208 der vorzüglichsten Fixsterne, in den Abhandl. der Bayr. Akad. d. W., Math. Ph. Cl., Bd. IX, S. 559 Anmerkung) zeigt thatsächlich, dass nach seinen photometrischen Untersuchungen solche Sterne, die in der Nähe glänzender Constellationen stehen, relativ zu tief geschätzt sind. — Höchst wahrscheinlich beeinflusst auch die verschiedene scheinbare Ausdehnung, welche die Sterne in Folge der Irradiation des Lichtes im Auge je nach ihrer Lichtstärke besitzen, die Vergleichung ihrer Helligkeiten. Man könnte vermuthen, dass der Name „Sterngrösse“ in nächster Beziehung zu der scheinbaren Grösse, d. h. Ausdehnung, der Sterne stehe. In der *μεγάλη σύνταξις* des Ptolemäus haben wir jedoch keinen Anhalt zu dieser Vermuthung finden können.

(nicht allzu geringer) Objectivweite die Sterne sich der teleskopischen Beobachtung aus bekannten Gründen auf dunklerem Grunde, mit geringerer scheinbarer Ausdehnung und mit grösserer Intensität darbieten, als sie bei Beobachtung mit blossem Auge oder bei Benutzung von Fernröhren geringerer Wirksamkeit erscheinen. Da übrigens die Empfindlichkeit für relative Helligkeitsunterschiede nach den Versuchen Aubert's u. A. im Allgemeinen mit der absoluten Lichtstärke zunimmt, so mussten diejenigen Astronomen, welche ihre Grössenschätzungen bei beträchtlicherer Vergrösserung*) und insbesondere bei grösserer Weite der Objectivöffnung vornahmen, bei dem Bestreben, die Skala der teleskopischen Sterne ganz nach dem Vorbilde der Skala der 6 höchsten Grössenklassen anzuordnen, ein bestimmtes Grössenintervall bei kleinerem Unterschiede der Sternintensitäten annehmen, als solche Forscher, die bei gleichem Bestreben mit geringerer Vergrösserung und Objectivöffnung operirten. Von diesem Gesichtspunkte aus ist es vielleicht mit zu erklären, dass Astronomen, wie J. Herschel, die mit Fernröhren grösster Wirksamkeit operirten, ganz dieselben teleskopischen Sterne in eine grössere Anzahl von Grössenklassen eintheilten als andere Beobachter.**)

Hervorheben möchten wir noch, dass sich auch einige Beobachter bei ihren Grössenbestimmungen weit mehr von anderen Gesichtspunkten leiten liessen als von dem Principe, ihre Grössenschätzungen der althergebrachten Skala möglichst anzupassen und den empfundenen Helligkeitsunterschied, der zwei

*) Der Grad der Vergrösserung ist deswegen von Einfluss auf die Helligkeit des wahrgenommenen Sternes, weil sich (vergl. Humboldt a. o. a. O. S. 67) der scheinbare, sogenannte factice Durchmesser desselben mit zunehmender Vergrösserung verringert, also bei höherer Vergrösserung die von dem Sterne aus der Netzhaut zugehende Lichtmenge auf einen kleineren Netzhautbezirk concentrirt wird. Arago bemerkt, ein gutes Fernrohr vermöge den scheinbaren Durchmesser eines Sternes, der für das unbewaffnete Auge etwa 1 Minute betrage, bis auf 3 Secunden zu verringern. — **) Ein Uebelstand der teleskopischen Beobachtung besteht auch darin, dass bei achromatischen Objectiven die Crown-glaslinse sehr häufig eine grünliche Färbung besitzt, wodurch die röthlichen Sterne etwas an Intensität einbüssen (Zöllner, Phot. d. Himmels, S. 45 und 54). Bei Reflectoren übt häufig der Metallspiegel einen röthenden Einfluss aus.

unmittelbar auf einander folgende Größenklassen trenne, in möglichster Uebereinstimmung mit dem entsprechenden Unterschiede jener Skala zu wählen. Dies war z. B. der Fall, wenn man im Ganzen gerade 12 Sternklassen annahm, bloss damit den 6 Klassen der mit blossem Auge sichtbaren Sterne die gleiche Anzahl teleskopischer Größenklassen entspräche, oder wenn man in Rücksicht auf die Doppelsterne den Exponenten der Sterngrößenreihe in der Weise bestimmte, dass man annahm, wenn bei einem Sterne beliebiger Grösse ein zweiter, gleich intensiver Stern sich in so grosser Nähe befinde, dass sie beide den Eindruck eines Gestirnes machten, so sei dieses scheinbar einfache Gesamtgestirn um eine halbe Grösse höher zu schätzen als jeder einzelne Stern des Doppelgestirnes.

Das Bisherige zeigt hinlänglich, dass die Größenbestimmungen der Sterne den mannigfaltigsten Einflüssen unterlagen, in Folge deren die Beziehung zwischen Sterngrösse und Sternintensität eine schwankende und durch eine einfache Formel mit Genauigkeit nicht ausdrückbare sein muss. Allerdings sind die Grössenschätzungen des einen Forschers mehr werth als die des anderen; und zur Auffindung jenes Zusammenhanges zwischen Sterngrösse und Sternintensität haben meist nur die Grössenangaben eines Bessel, Argelander u. s. w. gedient. Aber auch der geübteste Forscher konnte sich bei seinen Größenbestimmungen den angeführten Fehlerquellen nicht ganz entziehen; auch wird das Missliche, das wegen der Variabilität der Sterne eine Vergleichung neuerer Sternmessungen mit den früheren Grössenschätzungen Argelander's u. A. hat, durch die Genauigkeit und Uebung dieser Astronomen nicht beseitigt, u. dergl. m. Vergessen wir nicht, zuletzt auch noch kurz daran zu erinnern, dass ebenso wie die Grössenschätzungen auch die eigentlichen photometrischen Messungen der Sterne mannigfachen Schwierigkeiten und Fehlerquellen unterliegen, in Folge deren die Angaben verschiedener Forscher betreffs der Intensitäten derselben Sterne oft in ganz auffallender Weise unter einander abweichen. Die Aufzählung jener Schwierigkeiten und Hindernisse, die der Genauigkeit und leichten Vervielfältigung der photometrischen Sternmessungen entgegenstehen, gehört nicht hierher; wir verweisen auf die Untersuchungen von Steinheil, Zöllner, Thury*) u. A.

*) Archives d. sc. ph. et nat. de Genève. Nouvelle Période. T. LI, p. 203 ff.

über die Helligkeitsmessungen am Sternenhimmel. Es bedarf nach dem Bisherigen keines weiteren Nachweises, dass, wenn sich im Folgenden herausstellen sollte, dass der arithmetischen Reihe der Sterngrössen eine geometrische Reihe der Sternintensitäten nur mit sehr geringer Annäherung entspreche, hieraus betreffs unseres Vermögens der Vergleichung übermerklicher Empfindungsunterschiede oder gar betreffs der Gültigkeit des Weber'schen Gesetzes für solche Unterschiede durchaus nichts Sicheres geschlossen werden kann.

§ 52.

Offenbar lässt es die Veränderlichkeit der Helligkeiten und Färbungen der Sterne äusserst wünschenswerth erscheinen, dass eine Untersuchung der zwischen Sterngrösse und Sternintensität obwaltenden Beziehung sich auf die photometrischen Beobachtungen eines Astronomen gründe, der zur gleichen Zeit, als er seine Messungen der Sternintensitäten anstellte, eine Revision der vorliegenden Grössenbestimmungen im Sinne der althergebrachten Skala der Sterngrössen vornahm. Auch besitzt das Resultat einer Untersuchung jener Art umso mehr Gewicht, je eingehender und specieller die Grössenbestimmungen sind, auf die sie sich bezieht, d. h. je kleinere Grössenintervalle oder Bruchtheile ganzer Grössen in ihnen berücksichtigt sind. Aus diesen Gründen verdient das Resultat einer Vergleichung der bis auf Hundertstel von ganzen Grössen genauen Grössenschätzungen J. Herschel's mit den von diesem berühmten Forscher zur gleichen Zeit angestellten photometrischen Bestimmungen von 60 Sternen erster bis vierter Grösse besondere Berücksichtigung.*) Herschel selbst hat auf Grund dieser seiner Untersuchungen die Behauptung aufgestellt, dass die den auf einander folgenden Sterngrössenklassen entsprechende Reihe der Sternintensitäten eine quadratische

*) Die Grössenschätzungen Herschel's sind von dessen eigentlichen photometrischen Messungen mittelst des Astrometers nicht beeinflusst worden. Die Genauigkeit der letzteren hebt Zöllner (Photometrische Untersuchungen, S. 176) gegenüber gewissen, auf das etwas primitive und unbequeme Verfahren Herschel's sich beziehenden Unterschätzungen derselben hervor. Eine Anzahl (22) der von Herschel untersuchten Sterne ist späterhin wieder von R. Engelmann (vergl. Astron. Nachrichten No. 1828) mittels eines Zöllner'schen Astrophotometers gemessen worden.

Potenzenreihe ($1, \frac{1}{4}, \frac{1}{9}, \frac{1}{16}$) sei. Wir beschränken uns darauf, das Hauptsächliche dessen, was sich nach Fechner's eingehenden Erörterungen (Fechner, Ps. Gr., S. 492 ff.) gegen diese Behauptung anführen lässt, kurz zu erwähnen. Fechner macht zunächst geltend, dass J. Herschel bei jener Behauptung als Repräsentanten der Sterne erster Grösse willkürlich einen der allerhellsten Sterne dieser Grössenklasse, nämlich α Centauri, voraussetze, während er selbst an anderen Orten ausdrücklich α Orionis als denjenigen Stern bezeichne, welcher eine mittlere Stelle unter den Sternen erster Grösse einnehme. Setze man anstatt α Centauri die Intensität des letzteren Sternes in die von Herschel nur bis zur 4. Grössenklasse nachgewiesene quadratische Potenzenreihe ein, so erhalte man die Reihe: $0,484, \frac{1}{4}, \frac{1}{9}, \frac{1}{16}$, die sich in die geometrische Reihe $\frac{1}{2}, \frac{1}{4}, \frac{1}{8}, \frac{1}{16}$ verwandele, wenn man statt $0,484$ den Werth $\frac{1}{2}$ und statt $\frac{1}{9}$ den Bruch $\frac{1}{8}$ setze, was bei der Unsicherheit der Grössenschätzungen, bei der Variabilität von α Orionis und in Rücksicht darauf erlaubt zu sein scheint, dass nach Herschel selbst das Zutreffen der quadratischen Potenzenreihe mit der Reihe der Sternintensitäten kein genaues ist. Fechner sucht noch in ausführlicherer Weise darzuthun, dass die Annahme einer in geeigneter Weise bestimmten geometrischen Reihe der Sternintensitäten mit den einzelnen, sowohl auf Sterngrösse als auch Sternintensität bezüglichen, genauen Beobachtungsergebnissen Herschel's noch besser übereinstimme als die Voraussetzung der quadratischen Potenzenreihe, indem die Zusammenstellung der Beobachtungsangaben und der Berechnungsergebnisse eine grössere Fehlerquadratsumme ergebe, wenn man die auf letztere Voraussetzung gegründete Formel Herschel's benutze, als wenn man von der Voraussetzung einer geometrischen Reihe ausgehe. Allerdings schwindet dieser Vorzug der letzteren Annahme, wenn man die Herschel'sche Intensitätsbestimmung von ν Argus, welche ganz unzweifelhaft mit einem beträchtlichen Fehler behaftet ist*), nicht mit in Rechnung bringt. Doch wenn man auch hiernach allenfalls behaupten könnte, dass die Herschel'sche Formel keine schlechteren Resultate ergebe als die Formel Fechner's, so ergibt sie doch auch keine besseren; und zieht man nicht nur die 4 ersten

*) Vergl. die von Fechner (Ps. Gr., S. 503) angeführte Aeusserung Herschel's.

Grössenklassen, auf die allein sich Herschel's Sternmessungen beschränkten, sondern auch die tieferen Grössenklassen mit in Betracht, so erweist sich jene Herschel'sche Annahme als ganz untauglich, da nach derselben die Zahl der Grössenklassen für die lichtschwachen Sterne eine viel zu grosse wird, so dass z. B. nach jener Annahme Herschel's, wie Thury (a. o. a. O. S. 233) bemerkt, der kleinste Stern, der mit dem zwanzigfüssigen Reflector W. Herschel's sichtbar war und nach der Schätzung dieses Astronomen höchstens der 20. Grössenklasse zugehörte, als ein Stern 320ter Grösse zu betrachten sein würde.

§ 53.

Fast gleichzeitig mit jenen photometrischen Untersuchungen J. Herschel's am Cap der guten Hoffnung stellte Steinheil mit dem von ihm selbst erfundenen Prismenphotometer einige Helligkeitsmessungen am Sternenhimmel an und stellte auf Grund derselben als der Erste die Behauptung auf, dass die Intensitäten der auf einander folgenden, ihrer Nummer nach zunehmenden Grössenklassen eine abnehmende geometrische Progression darstellen. Leider erstreckten sich diese photometrischen Beobachtungen Steinheil's nur auf 29 Sterne erster bis siebenter Grösse; auch sind die von ihm benutzten Grössenangaben wenig genau und detaillirt. Doch fand jene Behauptung desselben mehrfache Bestätigung durch die leider nur in ihrem Endresultate veröffentlichten Untersuchungen Stampfer's, die sich auf 132 Fixsterne vierter bis zehnter Grösse und eine Anzahl kleiner Planeten bezogen, und durch die Untersuchungen von Dawes, Johnson und Pogson*), deren erster 187 Fixsterne 6ter bis 9ter Grösse der photometrischen Beobachtung unterwarf, während Johnson die Lichtintensitäten von 60 Sternen 4,1ter bis 9,7ter Grösse und Pogson die von 36 kleinen Planeten und gleichfalls einer Anzahl von Fixsternen bestimmte. Alle diese Forscher, um von den wenig maassgebenden Untersuchungen des älteren Struve ganz abzusehen, gelangten übereinstimmend mit der

*) Vergl. Steinheil, a. a. O. S. 21 ff., ferner Dawes, a. o. a. O. S. 190 ff. und Stampfer in den Sitzungsber. der Wiener Akad., Math. phys. Cl. v. 1851, S. 761. Betreffs der Untersuchungen von Pogson und Johnson waren wir leider nur auf die Mittheilungen Fechner's in den Ber. d. Sächs. Ges. d. W. v. 1859, S. 58 ff. angewiesen.

Fechner'schen Erörterung der Beobachtungsdata J. Herschel's zu dem Resultate, dass die der Sterngrößenreihe entsprechende Reihe von Sternintensitäten eine geometrische Progression darstelle; wobei noch besonders hervorzuheben ist, dass die Mehrzahl dieser Forscher ganz unabhängig von einander zu diesem Ergebnisse gelangte.

Neuerdings ist auch L. Seidel (a. o. a. O. S. 562 ff.), mit Rücksichtnahme auf die Größenangaben Argelander's und seine eigenen sehr sorgfältigen und verhältnissmässig zahlreichen Sternmessungen, auf die Frage eingegangen, durch welche Formel die zwischen Sterngrösse und Sternintensität obwaltende Beziehung am besten repräsentirt werde. Er findet unter Zugrundelegung von 175 seiner Sternmessungen, dass von einem genau gültigen Gesetze, nach welchem die sogenannte Grösse eines Sternes von dessen Helligkeit abhängt, wegen der Unvollkommenheit der bisherigen Größenbestimmungen allerdings nicht die Rede sein könne, aber als die passendste Formel hierfür eine logarithmische Formel zu gelten habe, die er in Worten folgendermassen ausdrückt: „Die Nummern der Grössenklassen verschiedener Sterne, negativ genommen, sind approximativ Logarithmen der Helligkeiten dieser Sterne, bezogen auf die Basis des logarithmischen Systems = 2,8606 und auf eine Helligkeitseinheit, welche im Verhältniss 1,1416:1 die Lichtmenge von Wega übertrifft.“

Leider hat Zöllner (Photometrie des Himmels) bei seinen photometrischen Untersuchungen von 226 Sternen erster bis sechster Grösse nicht darauf Rücksicht genommen, ob die Beobachtungen der verschiedenen Nächte in der Weise combinirt werden könnten, dass die Intensitäten aller von ihm gemessenen Sterne sich in ihrem Verhältnisse zu einer gemeinsamen Einheit ausdrücken liessen. Es unterliegt allerdings keinem Zweifel, dass die Combinationen der Beobachtungen verschiedener Nächte keine ganz zuverlässigen Resultate ergeben können, zumal wenn die Beobachtungsergebnisse zweier Nächte durch die Messungen nur eines einzigen Vergleichssterne mit einander verbunden werden. Indessen da eine Erörterung der uns hier interessirenden Frage doch kaum so lange hinauszuschieben sein dürfte, bis man im Stande ist, in einer einzigen Nacht die Intensitäten zahlreicher Sterne mit Genauigkeit zu messen — hat doch Zöllner selbst in einer Nacht durchschnittlich kaum mehr als 6 Sterne unter-

sucht —, so haben wir die photometrischen Bestimmungen Zöllner's, so viel nur anging, combinirt, ähnlich wie auch J. Herschel, L. Seidel u. A. ihre Beobachtungsergebnisse combinirt haben, und so 2 Reihen von Sternintensitäten erhalten, deren erstere die Helligkeiten von 42 auf die Lichtstärke von β *Aurigae* als Intensitätseinheit bezogenen Sternen angiebt, und deren zweite die nicht ganz unbeträchtliche Anzahl von 102 Sternintensitäten enthält, denen die Lichtstärke von γ *Urs. maj.* als Einheit zu Grunde gelegt ist. Die Intensitäten dieser beiden Tabellen haben wir mit den von Zöllner angeführten Sterngrößen zusammengestellt und mit Hilfe der Methode der kleinsten Quadrate aus der ersteren Tabelle die Gleichung: $G = -2,268 \log J + 2,424$, wo G wiederum die Argelander'sche Sterngröße und J die Sternintensität bedeutet, und aus der zweiten Tabelle die Gleichung: $G = -2,674 \log J + 2,316$, abgeleitet. Besser noch als diese beiden Formeln würden den Beobachtungsergebnissen Zöllner's zwei, allerdings complicirtere, Formeln gerecht werden, denen gemäss das Intensitätsverhältniss zwischen 2 auf einander folgenden Größenklassen nicht ganz constant bleibt, sondern sich für die lichtschwächeren der mit blossem Auge sichtbaren Sterne etwas verringert.

Ein ähnliches Resultat ergeben die photometrischen Messungen, welche J. Th. Wolff*) neuerdings mittels eines Zöllner'schen Astrophotometers an sehr zahlreichen Fixsternen ausgeführt hat. Nach Wolff's Beobachtungen**) verhält sich die mittlere Intensität der 2ten Größenklasse zu derjenigen der 2,5ten Klasse wie 1,52:1; in fast genau demselben Verhältnisse (1,53:1, bez. 1,51:1) steht die Intensität der 2,5ten Klasse zu derjenigen der 3ten Klasse und die letztere zu derjenigen der 3,5ten Klasse.

*) Photometrische Beobachtungen von Fixsternen, Leipzig 1877.

**) Wolff hat im Ganzen 475 Fixsterne 1ster bis 6,7ter Grösse gemessen. Von diesen Messungen sind aber aus verschiedenen Gründen, wegen Variabilität u. dergl., nur die Messungen von 392 Sternen 2ter bis 5ter Grösse für unseren Zweck gut verwendbar. Da Wolff bei Prüfung der Frage, ob die Reihe der Sternintensitäten eine geometrische sei, von seinen 161 Beobachtungsreihen nur 134 berücksichtigt hat, so haben wir uns der Mühe unterzogen, diese Frage noch einmal auf Grund der gesamten Beobachtungsreihen Wolff's mit möglichster Sorgfalt zu untersuchen, sind aber dabei nicht zu wesentlich anderen Resultaten gelangt, als bereits Wolff erhalten hat.

Hingegen ist das Intensitätsverhältniss, in welchem die letztgenannte Grössenklasse zur 4ten, die 4te zur 4,5ten und diese zur 5ten Klasse steht, ein beträchtlich geringeres, im Mittel gleich dem Verhältnisse 1,34 : 1.

§ 54.

Dass die Intensitäten der aufeinander folgenden Grössenklassen annähernd eine geometrische Reihe darstellen, ist, wie gesehen, das Resultat mehrerer, zum Theil ganz unabhängig von einander geführter Untersuchungen. Die 3 tieferen Grössenklassen der mit blossem Auge sichtbaren Sterne scheinen allerdings durch merklich geringere Intensitätsverhältnisse getrennt zu sein als die übrigen Grössenklassen. Leider erstreckt sich die Uebereinstimmung jener Untersuchungen nicht ebenso auch auf den Exponenten der geometrischen Reihe der Sternintensitäten. Demselben kommen vielmehr nach den Untersuchungen der verschiedenen Forscher verschiedene Werthe zu, und zwar ist der Werth desselben, wenn man die Reihe der Sternintensitäten aufsteigend verfolgt,

nach den von Fechner behandelten Beobachtungsdaten J. Herschel's

	gleich 2,241
„ Johnson (nach eigener Revision der Sterngrößen)	„ 2,358
„ „ (mit Zuziehung anderweiter Grössenschätzungen von Groombridge, F. G. W. Struve u. A.)	„ 2,427
„ Pogson	„ 2,400
„ Stampfer (nach Bestimmung an Fixsternen) . .	„ 2,519
„ „ (nach Bestimmung an kleinen Planeten)	„ 2,545
„ Zöllner's Messungen von 42 Sternen 1ter bis 6ter Grösse	„ 2,761
„ Zöllner's Messungen von 102 Sternen 2ter bis 6ter Grösse	„ 2,366
„ Steinheil's Beobachtungen	„ 2,702
„ L. Seidel	„ 2,8606
„ Dawes	„ 4

Wie man sieht, weicht gerade der von Dawes mit Hülfe seiner zahlreichen, über 187 Sterne sich erstreckenden Messungen gefundene Exponent von den Angaben aller übrigen Forscher*)

*) Nach den Sternmessungen von Wolff würde dieser Exponent gleich 2,09 zu setzen sein.

ganz beträchtlich ab. Die übrigen Werthe des Exponenten zeigen allerdings auch nicht ganz unbeträchtliche Unterschiede unter einander; indessen erklären sich diese Unterschiede in Hinblick auf die Unvollkommenheit aller bisherigen Grössenschätzungen hinlänglich dadurch, dass sich die photometrischen Untersuchungen jener Forscher wenigstens theilweise nicht auf dieselben Sterne, ja nicht einmal auf ganz dieselben Grössenklassen erstreckten, ferner dadurch, dass die obigen Forscher bei ihren Berechnungen nicht sämmtlich die Grössenangaben eines und desselben Astronomen benutzten, endlich auch durch die Unterschiede der photometrischen Verfahrensweisen und der bei Berechnung des Exponenten angewandten (mathematischen) Methoden u. dergl. m. Hingegen scheint das Resultat der Untersuchungen von Dawes wegen seiner bedeutenden Abweichung von den Angaben der übrigen Forscher einer besonderen Erklärung zu bedürfen, zumal da Dawes seinen Berechnungen nicht etwa eigene Grössenschätzungen, sondern die auch von anderen der obigen Forscher benutzten Grössenangaben von Bessel und Argelander zu Grunde legte.

Dawes bediente sich bei seinen photometrischen Sternuntersuchungen des Principes der verkleinerten Objectivöffnungen.*)

*) Auch die Sternmessungen von Johnson und Pogson beruhten auf diesem Principe. Doch liesse sich leicht zeigen, dass die Untersuchungen von Johnson in weit geringerem Maasse als die Beobachtungen von Dawes der oben zu erörternden Fehlerquelle unterlagen. Betreffs der Untersuchungen Pogson's sind wir nicht genau genug unterrichtet, um das Gleiche mit Bestimmtheit behaupten zu können. Da jedoch Pogson seine photometrischen Beobachtungen in der Absicht unternahm, zu prüfen, ob der von Dawes oder der von Johnson angegebene Werth des Exponenten der Sternintensitätenreihe der richtige sei, so ist wohl vorzusetzen, dass Pogson seine Beobachtungen mit ganz besonderer Sorgfalt und Vorsicht ausführte. Ueberhaupt spricht diese nachträgliche Bestätigung der Johnson'schen Beobachtungsergebnisse durch Pogson sehr für die Vermuthung, dass bei den Sternmessungen von Dawes eine einflussreiche Fehlerquelle wirksam gewesen sei. Eine bekannte Fehlerquelle für Sternmessungen nach dem Principe der verkleinerten Objectivöffnungen entspringt daraus, dass sich bei Verkleinerung der Oeffnung des Objectives der durch dasselbe gesehene Stern in Folge der Beugung des Lichtes in eine Scheibe ausbreitet, die um so grösser ist, je mehr die Oeffnung verengt wird, und je grösser die Intensität des Sternes ist. Dieser Uebelstand scheint sich bei den Beobachtungen jener 3 Forscher wenig geltend gemacht zu haben. Eine sehr geringfügige Fehlerquelle ent-

Er suchte für jeden der zu untersuchenden Sterne (6ter bis 9ter Grösse) diejenige Objectivöffnung herzustellen, bei welcher derselbe noch eben beständig sichtbar war, und setzte dann die Intensität des Sternes dem Quadrate des hierzu erforderlichen Oeffnungsdurchmessers reciprok. Die Sichtbarkeit eines Sternes ist aber nichts Anderes als die Unterscheidbarkeit desselben von dem Grunde, auf dem er erscheint; und die Helligkeit des Grundes, auf dem sich ein teleskopisch beobachtetes Gestirn darstellt, hängt bei gleich bleibender Vergrößerung von der Weite der Objectivöffnung des Fernrohres ab. Da nun Dawes bei den Sternen von geringerer als 6ter Grösse die Oeffnung des Objectives vergrößern musste, so änderte er bei Beobachtung dieser Sterne gleichzeitig die Helligkeit des Grundes, von welchem die zu messenden Sterne eben deutlich unterschieden werden sollten, und es bedurfte unter solchen Umständen für ihn einer weiteren Objectivöffnung, um den Stern von dem, mit der Weite der Objectivöffnung ebenfalls an Helligkeit zunehmenden, Grunde unterscheiden zu können, als es bedurft hätte, wenn sich bei Erweiterung der Objectivöffnung die Helligkeit des Grundes nicht geändert hätte. Diesen Umstand liess Dawes ausser Auge, indem er die Intensität jedes Sternes einfach dem Quadrate der zu seiner Wahrnehmbarkeit erforderlichen Weite der Objectivöffnung reciprok setzte, und in Folge dessen hat er zweifelsohne die Intensitäten der beobachteten Sterne von geringerer als 6ter Grösse in Vergleich zu der Intensität dieser Sternklasse und überhaupt die Intensität jeder der untersuchten Grössenklassen in Vergleich zu der nächsthöheren Klasse zu gering und mithin den Exponenten der (aufsteigenden) Reihe der Sternintensitäten zu gross gefunden.

Erörtern wir diesen Punkt noch etwas näher. Die Helligkeit des dunklen Grundes, auf dem sich die von Dawes beob-

springt für alle Sternmessungen nach obigem Principe auch daraus, dass für die Strahlen, welche in einiger Entfernung vom Mittelpunkte des Objectives auf dieses auffallen, der Einfall- und Brechungswinkel ein etwas anderer ist als für diejenigen Strahlen, welche die centraleren Theile des Objectives treffen. Da jedoch für erstere Strahlen die Dicke der Glaslinsen eine etwas geringere ist, so dürfte der Mehrverlust an Intensität, der für jene Strahlen in Folge der Reflexion eintritt, durch eine geringere Absorption innerhalb der Linsen wenigstens annähernd compensirt werden.

achteten Sterne darstellten, müssen wir uns vorstellen als zusammengesetzt aus einer Helligkeit, die gewissermaassen das äussere Aequivalent der dem subjectiven Eigenlichte zu Grunde liegenden, inneren Reizung bildete, aus der Lichtmenge, welche in Folge der Lichtreflexion in der Atmosphäre von aussen her auf den das Bild des beobachteten Sternes umgebenden Augen- grund fiel, und aus der Intensität des Lichtes, das von dem beobachteten Sterne oder anderen benachbarten Gestirnen her- rührend in Folge der Unregelmässigkeiten in der Hornhaut und den übrigen Augenmedien sich über den Augengrund verbreitete. Die zuerst genannte dieser 3 Lichtintensitäten ist hier als constant zu betrachten; betreffs der an dritter Stelle angeführten, in der Regel äusserst unbedeutenden Lichtmenge lässt sich nichts Allgemeines behaupten; hingegen ist die an zweiter Stelle ge- nannte, so zu sagen objective Helligkeit des wahrgenommenen Himmelsgrundes dem Quadrate des Durchmessers der Objectiv- öffnung proportional. Das photometrische Verfahren von Dawes setzt nun voraus, dass diese mit der Weite der Objectivöffnung variable Helligkeit der zuerst genannten Lichtintensität gegen- über ganz vernachlässigt werden könne; und eben dies möchten wir bestreiten. Dass die Helligkeit, mit welcher der Himmels- grund in sogenannten heiteren und zu astronomischen Beob- achtungen geeigneten Nächten vor Aufgang oder nach Nieder- gang des Mondes insbesondere dem für diese Lichtintensitäts- grade adaptirten Auge erscheint, nicht als eine gegen das Aequivalent der beständigen inneren Reizung des Sehorganes verschwindende Helligkeit angesehen werden dürfe, scheint ein einziger, vergleichender Blick auf den Sternenhimmel solcher Nächte und gewisse, vor demselben sich abhebende, dunkle, irdische Objecte zu lehren. Dove und Helmholtz (Ph. O., S. 317) machen bei Erörterung einer anderen Frage darauf aufmerksam, dass man in der dunkelsten Nacht, wenn alle andere Farben fehlen, noch das Blau des Himmels erkenne. Aus dieser Be- merkung und der anderen Thatsache, dass (vergl. Aubert a. a. O. S. 126) eine farbige Helligkeit, die intensiv genug ist, um in ihrer Färbung erkannt zu werden, noch sehr wohl verringert werden kann, ehe sie überhaupt aufhört, wahrnehmbar zu sein, geht hervor, dass die Helligkeit des nächtlichen Himmelsgrundes noch eine ziemliche Herabminderung erfahren kann, ehe sie die- jenigen Intensitätsgrade erreicht, bei denen Helligkeiten von

bläulicher Färbung von dem subjectiven Augenschwarz nicht mehr unterschieden werden können. Auch bei der teleskopischen Beobachtung, bei welcher im Allgemeinen der Himmelsgrund weniger intensiv erscheint als bei unbewaffnetem Auge, macht sich nach den Aussagen verschiedener Astronomen der Einfluss der Helligkeit des Grundes, auf welchem der nächtlich beobachtete Stern sich darstellt, noch geltend. Der förderliche Einfluss, den der Gebrauch der Fernröhre auch bei nächtlichen Beobachtungen auf die Wahrnehmbarkeit der Gestirne hat, beruht ja zum Theil eben darauf, dass die Intensität des Himmelsgrundes bei constanter Objectivöffnung im graden Verhältnisse der angewandten Flächenvergrößerung abnimmt und demgemäss die Helligkeit des beobachteten Sternes, welche bei Erhöhung der Vergrößerung keine Verminderung erleidet, um so deutlicher sich von dem Himmelsgrunde abhebt, je mehr das angewandte Fernrohr, resp. die Ocularlinse, vergrössert. So äussert Arago (a. a. O. XI, S. 174): „Es darf schliesslich nicht unerwähnt bleiben, dass der zwischen Nacht- und Tagbeobachtungen aufgestellte Unterschied keineswegs ein absoluter, sondern nur ein relativer ist; dass sogar in der Nacht das Feld eines Fernrohres durch ein gewisses, äusserst schwaches Licht erhellt wird, dessen Ursprung in gewisser Beziehung unsicher erscheinen könnte, welches aber jedenfalls hinreicht, um die allerkleinsten Sterne unsichtbar zu machen. Dass diese Sterne bei sehr starken Vergrößerungen sichtbar werden, rührt davon her, dass in Folge dieser Vergrößerung die Helligkeit dieses Lichtes fortwährend abnimmt, wenn man Ocularlinsen von immer kürzeren Brennweiten anwendet.“ Auch Dawes selbst bemerkt (a. o. a. O. S. 197), dass die vergrössernde Kraft des Fernrohres auf die Sichtbarkeit der Gestirne, allerdings nur bis zu gewisser Grenze, von Einfluss sei. Vor Allem möchten wir daran erinnern, dass es eine Hauptsorge der photometrischen Bemühungen Steinheil's, Zöllner's u. A. gewesen ist, den Einfluss der Helligkeit des Grundes auf ihre mit Hülfe des Teleskops vorsichgehenden Sternmessungen zu eliminiren, resp. constant zu erhalten, obwohl diese Forscher bei ihren photometrischen Untersuchungen nicht einmal in der Weise wie Dawes verfahren, dass sie jeden der zu messenden Sterne auf den Punkt der Ebenmerklichkeit brachten, sondern vielmehr so, dass sie immer die Helligkeiten zweier beobachteter Sterne in messbarer Weise so weit abänderten, bis

beide gleich hell erschienen; ein Verfahren, bei dem sich offenbar eine Verschiedenheit des Grundes, auf dem die beobachteten Sterne erscheinen, weit weniger geltend macht als bei dem von Dawes angewandten Verfahren, wo die Unterscheidbarkeit des Sternes von dem umgebenden Grunde maassgebend ist. Auch L. Seidel bemerkt (a. o. a. O. S. 587), dass bei den Helligkeitsmessungen der Sterne vor Allem auf die vollständige Elimination des Einflusses verschiedener Helligkeit des Grundes, auf welchem der Stern gesehen werde, Werth zu legen sei und zwar mit um so mehr Ursache, da J. Herschel gezeigt habe, dass Aenderungen dieser Helligkeit unter Umständen auf das Urtheil einen Einfluss ausüben, der so gross ist, als ob die Helligkeit des Sternes selbst sich in quadratischem Verhältnisse geändert habe.

Unter solchen Umständen dürfen wir wohl behaupten, dass die Aenderungen, welche die Helligkeit des Himmelsgrundes bei Veränderung der Objectivöffnung erfuhr, sich bei den photometrischen Bestimmungen von Dawes nothwendig geltend machen mussten, indem die Grösse der eben noch vom Himmelsgrunde unterscheidbaren Lichtintensität bei wachsender Objectivweite gleichfalls zunahm und demgemäss Dawes den Exponenten der geometrischen Reihe der Sternintensitäten um Beträchtliches zu gross erhielt. Diese Behauptung ist um so mehr gerechtfertigt, da sich Dawes bei seinen Sternmessungen einer verhältnissmässig sehr geringen, nämlich nur $16\frac{1}{2}$ -facher, Vergrösserung bediente und dieselben seiner eigenen Aussage (a. o. a. O. S. 194) gemäss in solchen Nächten anstellte, welche zwar sichtlich von einer beträchtlichen Menge Nebels frei, aber doch für mikrometrische Messungen nicht geeignet waren.

§ 55.

Die leicht zu grossem Misstrauen gegen die erwähnten Untersuchungen von Steinheil, Johnson u. A. Anlass gebende Differenz zwischen dem Resultate, das Dawes aus seinen Beobachtungen ableitet, und den entsprechenden Angaben der übrigen Forscher darf uns also nicht von der Behauptung abhalten, dass die Intensitäten der auf einander folgenden Grössenklassen im Grossen und Ganzen mit grober Approximation eine geometrische Reihe bilden, deren Exponent in aufsteigender Richtung etwa den Werth 2,5 oder 2,6 besitzt. Man wird meinen, dass in

dieser Thatsache ganz zweifelsohne eine interessante Bestätigung des Weber'schen Gesetzes für übermerkliche Unterschiede zu erblicken sei. Indessen scheint sich gegen diese Beziehung auf das Weber'sche Gesetz ein Bedenken zu erheben. Fechner (Ps. II, S. 107 ff.) hat bereits ausführlicher auf den Umstand aufmerksam gemacht, dass die Intensität, welche bei Beobachtung eines Sternes als der einwirkende Lichtreiz zu betrachten ist, aus der eigentlichen oder eigenen Intensität J des Sternes, aus der Helligkeit h des Grundes, auf welchem er steht, und aus dem äusseren Aequivalente a der beständigen subjectiven Reizung des Sehorganes sich zusammensetzt. Hiernach wäre in Rücksicht auf das Weber'sche Gesetz nicht sowohl die Gültigkeit einer Formel: G (die Sterngrösse) $= -k \log J + c$, auf welche die photometrischen Untersuchungen von Steinheil, Zöllner und L. Seidel hinweisen, als vielmehr das Bestehen der Gleichung: $G = -k \log (J + h + a) + c$ zu erwarten, da ja bei Einordnung der Sterne in die verschiedenen Grössenklassen nicht die eigene Helligkeit J derselben, abgetrennt von der Helligkeit des Grundes ($h + a$), auf dem sie erschienen, sondern vielmehr der Gesamteindruck $J + h + a$ maassgebend sein musste.

Gegen dieses Bedenken lässt sich die Beziehung des zwischen Sterngrösse und Sternintensität bestehenden Zusammenhanges auf das Weber'sche Gesetz offenbar dann aufrecht erhalten, wenn sich zeigen lässt, dass bei den Beobachtungen der Gestirne, bei denen diese ihrer Grösse nach bestimmt wurden, die Helligkeit $h + a$ gegen J im Allgemeinen nur sehr klein war, so dass man ohne merklichen Nachtheil annehmen kann, es seien bei den Grössenbestimmungen der Gestirne im Allgemeinen nur die eigenen Helligkeiten derselben maassgebend gewesen. Was zunächst die Grösse a betrifft, so war man vor Veröffentlichung der Versuche Aubert's, als man glaubte, durch Rücksichtnahme auf das subjective Eigenlicht alle unteren Abweichungen vom Weber'schen Gesetze innerhalb des Gesichtssinnes erklären zu können, wohl geneigt, dieselbe etwas zu überschätzen. Wir betrachten dieselbe als eine gegen die Intensität der mit blossem Auge oder teleskopisch wahrgenommenen Sterne im Allgemeinen nur sehr kleine Grösse. Was ferner die Helligkeit h des nächtlichen Himmelsgrundes anbelangt, so wird man vielleicht meinen, dass diese Helligkeit durchaus nicht als gegen die eigenen Intensitäten der Sterne klein und unerheblich betrachtet werden dürfe, weil die

Helligkeit des Himmelsgrundes diejenige Helligkeit sei, von welcher die Sterne 6ter bis 7ter Grösse bei unbewaffnetem Auge nur eben noch unterschieden werden könnten, und hieraus zu schliessen sei, dass die eigenen Intensitäten der Sterne 6ter und höherer Grösse bei weitem noch nicht so gross seien als die Intensität des nächtlichen Himmelsgrundes. Allein man darf nicht vergessen, wie sehr die relative Grösse des eben merklichen Lichtunterschiedes nicht nur bei Abnahme der absoluten Helligkeit, sondern auch, wie die Beobachtungen von Förster, Aubert (a. a. O. S. 82 ff.) u. A. dargethan haben, bei Abnahme des Gesichtswinkels sich vergrössert. So übertrifft z. B. in einer von Aubert (a. a. O. S. 86) mitgetheilten Versuchsreihe der unter sehr geringem Gesichtswinkel aufgefasste, eben merkliche Unterschied die Haupthelligkeit sogar um das 4,666fache und 9,3fache. Allerdings kommt hier die Irradiation des Lichtes im Auge mit in Betracht. Doch scheint es immerhin nach diesen Beobachtungen Aubert's, als liesse sich in Anbetracht dessen, dass die kleinsten der in jener Versuchsreihe Aubert's angewandten Gesichtswinkel gegenüber den Gesichtswinkeln, welche sich aus den Entfernungen und Durchmesser der Gestirne berechnen würden, noch sehr gross sind, die Annahme machen, dass schon die eigenen Intensitäten der Sterne 6ter Grösse die Helligkeit h des nächtlichen Himmelsgrundes beträchtlich übertreffen, obwohl letztere Helligkeit die Haupthelligkeit und jene Intensitäten die eben merklichen Zuwüchse zu dieser sind. Ziehen wir nun ausserdem noch in Betracht, dass bei den teleskopischen Beobachtungen die eigenen Intensitäten der Sterne annähernd im Verhältnisse der Flächengrösse der Objectivöffnung zur Flächengrösse der Pupille zunehmen, während die Helligkeit des Grundes zwar ebenfalls mit der Flächengrösse der Objectivöffnung zunimmt*), gleichzeitig aber nach Maassgabe der an-

*) Diesen Umstand, dass nämlich die Intensität des Himmelsgrundes, auf dem sich ein Stern darstellt, ebenso wie die eigene Intensität des letzteren mit dem Quadrate des Durchmessers der Objectivöffnung zunimmt, hat Fechner bei seinen Ausführungen Ps. II, S. 110 ganz ausser Acht gelassen. -- Dass der im vorigen Paragraphen versuchte Nachweis, dass die Grösse einer vom nächtlichen Himmelsgrunde eben unterscheidbaren Helligkeit sich mit der, wenn auch nur sehr geringen, Lichtstärke des wahrgenommenen Himmelsgrundes ändern müsse, den Ausführungen dieses Paragraphen nicht widerspricht, bedarf wohl keiner weiteren Erläuterung.

gewandten Flächenvergrösserung sich verringert, dass also kurz bei teleskopischer Beobachtung im Allgemeinen die eigene Intensität des Sternes beträchtlich erhöht, hingegen die Helligkeit des Grundes vermindert wird, und dass ferner auch die schwächeren der mit blossen Auge sichtbaren Sternklassen sehr oft mit Hilfe des Fernrohres betrachtet werden, so scheint uns die Behauptung gestattet zu sein, dass bei denjenigen Beobachtungen, welche für die Einordnung der Sterne in die verschiedenen Grössenklassen maassgebend gewesen seien, die Intensität des nächtlichen Himmelsgrundes im Grossen und Ganzen nur klein gegen die eigenen Intensitäten der Sterne gewesen sei und daher auch kein Bedenken zu tragen sei, die annähernde Gültigkeit der Formel: $G = -k \log J + c$, in nähere Beziehung zum Weber'schen Gesetze zu bringen. Eine gewisse Bestätigung findet diese Behauptung darin, dass, während die photometrischen Untersuchungen von Steinheil, Zöllner und L. Seidel, wie oben erwähnt, auf die Formel: $G = -k \log J + c$ hinweisen, die allerdings weniger genauen Sternmessungen von Johnson (Pogson und Dawes) direct auf die annähernde Gültigkeit der Formel: $G = -k \log (J + h) + c$, hindeuten, weil sie nach dem Verfahren der verkleinerten Objectivöffnungen angestellt wurden, bei welchem die gemessene Helligkeit eines Sternes aus der eigenen Intensität desselben und der Helligkeit des Grundes, auf dem er sich darstellt, besteht.

§ 56.

Trotz der verhältnissmässig ziemlich ausgedehnten Erörterungen dieses Capitels legen wir doch den Resultaten dieser Untersuchungen der zwischen Sterngrösse und Sternintensität bestehenden Beziehung für unseren Zweck nur äusserst geringen Werth bei, weil die sogenannten Grössen der Sterne trotz der sorgfältigen Revisionen und Sichtungen, die sie in der neuesten Zeit erfahren haben, nicht als hinlänglich zuverlässige Beobachtungsdaten, aus denen sich mit voller Sicherheit gewisse Schlüsse ziehen liessen, angesehen werden können, und überhaupt wegen der Unfertigkeit des vorliegenden empirischen Materials eine präcise Behandlung dieses Gegenstandes nicht möglich ist. Nur der Umstand, dass man in neuerer Zeit vielfach an diesem, mit dem Weber'schen Gesetze doch mehr oder weniger zusammen-

hängenden, Gegenstände Interesse genommen hat, liess uns auch auf diesen Gegenstand etwas näher eingehen. Was namentlich in neuerer Zeit ein lebhafteres Interesse für die genaue Revision der Grössenangaben und für die Ermittlung der Intensitätsverhältnisse der verschiedenen Grössenklassen angeregt hat, war die Erwägung, dass die Variabilität vieler Gestirne aus genauen Grössenangaben verschiedener Zeiten sich leicht erkennen lassen werde, und das Bedürfniss, die von Alters hergebrachte Einteilung der Sterne in Grössenklassen „photometrisch zu fundiren und zu fixiren und dadurch namentlich auch für die teleskopischen Sterne, die seither einer mehr oder weniger unsicheren Schätzung unterlegen haben, einen festen Maassstab der Schätzung zu begründen.“ Auch noch in anderer Weise ist von den Grössenbestimmungen der Gestirne und dem auf photometrischem Wege ermittelten Intensitätsverhältnisse der auf einander folgenden Grössenklassen Anwendung gemacht worden. So hat J. Herschel, welcher nur 69 Sterne vermittelt seines Astrometers wirklich untersuchte, die aus diesen Beobachtungen abgeleitete Relation zwischen Sternintensität und conventioneller Sterngrösse in Verbindung mit genauen Grössenschätzungen dazu benutzt, für 121 photometrisch nicht gemessene Sterne das numerische Helligkeitsverhältniss zu α Centauri zu bestimmen. Nicht sehr glücklich hat Humboldt (a. o. a. O. S. 131) bei seinen Sternmessungen die Grössenbestimmungen der zu messenden Sterne mit zu Hülfe gezogen. Stampfer gründet auf die Zuziehung des Exponenten der geometrischen Reihe der mittleren Intensitäten der verschiedenen Grössenklassen eine Bestimmung des Durchmessers der kleinen Planeten, der sich sonst wegen seiner Kleinheit nicht leicht mit Sicherheit bestimmen lässt. Argelander (Astron. Nachrichten no. 982) erklärt eine genaue Kenntniss der den Gestirnen beizulegenden Grössen als nützlich für die astronomische Beobachtung; denn wenn man solche kleine Lichtpünktchen, wie die kleinen Planeten seien, im Meridiane beobachten wolle, so gelinge die Beobachtung nur dann mit einiger Sicherheit, wenn man die Beleuchtung des Feldes sehr sorgfältig der, aus einer genauen Grössenangabe erkennbaren, Helligkeit des Gestirnes anpasse, alles fremde Licht möglichst entferne und ein Papier zur Hand nehme, auf dem man die Fadeneintritte im Dunkeln verzeichnen könne.

Eine möglichst genaue Bestimmung der Sterngrössen ist also, wie aus diesen Anführungen erhellt, in verschiedener Hinsicht wünschenswerth und von Nutzen. Auf verhältnissmässig einfachem Wege würde sich unseres Erachtens eine solche erzielen lassen, wenn man in möglichst engem Anschlusse an die alt-hergebrachte Grössenskala, etwa unter Zugrundelegung des Exponenten 2,5, den auch Thury (a. o. a. O. S. 234) vorschlägt, für jede der hauptsächlichsten Sternfarben auf photometrischem Wege eine Anzahl von Normalsternen bestimmte, welche sich in verschiedenen Himmelsgegenden befänden und die verschiedenen Grössenklassen ganz genau repräsentirten. Diese Normalsterne, von deren unveränderten Lichtstärken man sich allerdings öfter überzeugen müsste, würden künftigen Grössenschätzungen als feste Anhaltspunkte dienen, während bisher, wo Niemand recht wusste, welchen von den zahlreichen zu einer Grössenklasse gehörigen Sternen er als den besten Repräsentanten dieser Klasse zu betrachten habe, es nicht anders geschehen konnte, als dass die Grössenschätzungen verschiedener Forscher, ja selbst die eines und desselben Astronomen, nicht ganz mit einander übereinstimmten.

Man könnte zum Schlusse noch die Frage aufwerfen, ob sich ein Grund dafür angeben lasse, dass der Exponent der Reihe der mittleren Intensitäten der auf einander folgenden Grössenklassen gerade jenen um 2,5 herumschwankenden Werth besitze. Fechner's hierauf bezügliche Betrachtungen (Ps. II, S. 112 ff.), welche die nahe Uebereinstimmung dieses Exponenten mit der Grundzahl der natürlichen Logarithmen betonen, sind doch wohl weniger dazu bestimmt, ein Motiv anzugeben, das bei der Auswahl jenes Exponenten oder vielmehr des ihm entsprechenden Helligkeitsunterschiedes wirklich maassgebend gewesen sei, als vielmehr dazu, einen Gesichtspunkt anzuführen, von welchem aus der thatsächlich bestehende Exponent als ein sehr glücklich gewählter betrachtet werden könnte. In Hinblick auf die Zeiten, in denen die Katalogisirung und Anordnung der Sterne nach Grössenklassen begonnen wurde, glauben wir nicht, dass man irgend ein tiefer liegendes Motiv für die Auswahl des thatsächlich festgesetzten Intervalles zwischen den auf einander folgenden Grössenklassen voraussetzen habe; eher dürften die alleräusserlichsten Gesichtspunkte maassgebend gewesen sein. Auf-

fallend wenigstens ist uns Folgendes erschienen. Argelander giebt nach Humboldt für die verschiedenen Grössenklassen folgende Zahlen von zugehörigen Sternen an:

1. Grösse: 2. Grösse: 3. Grösse: 4. Grösse: 5. Grösse: 6. Grösse: u. s. w.
20 65 190 425 1100 3200

das Hipparch-Ptolemäische Verzeichniss hingegen:

15 45 208 474 219 49 9 sog. dunkle
Sterne (jetzt
7ter Grösse).

Auch Humboldt wundert sich über die geringe Anzahl der in diesem Verzeichnisse angegebenen Sterne 5ter und 6ter Grösse und über den Reichthum an Sternen 2ter und 3ter Grösse. Man beachte ferner, dass sich die für die 3te und 5te, 2te und 6te Klasse angegebenen Zahlen auffallend entsprechen. Die Vermuthung liegt nahe, dass man bei Abfassung dieses uns überlieferten Verzeichnisses von denjenigen Sternen ausgegangen sei, die im Allgemeinen die mittlere Intensität aller sichtbaren Gestirne zu besitzen schienen, den Sternen 4ter Grösse. Dann habe man aus Vorliebe für gewissen Schematismus nach beiden Seiten hin für die angrenzenden Grössenklassen möglichst gleich grosse Mengen von Sternen angeben wollen, deshalb für die 3te und 2te Klasse verhältnissmässig viele und für die 5te und 6te Klasse so auffallend wenige Sterne verzeichnet; und, damit die erste Klasse, welche die allerhellsten, unter einander sehr verschiedenen Sterne enthält, doch auch ein Gegenstück habe, habe man noch eine Anzahl sogenannter dunkeler Sterne statuirt, von denen nicht zu sagen ist, wie sie zu diesem Namen kommen.*)

*) Vielleicht ist der Umstand, dass das Intensitätsverhältniss, welches die tieferen Grössenklassen der mit blossen Auge sichtbaren Sterne trennt, ein merklich geringeres zu sein scheint als das die höheren Klassen trennende Intensitätsverhältniss, daraus zu erklären, dass man glaubte, für die höheren Sternklassen eine zu geringe Anzahl von Sternen zu erhalten, wenn man die Intervalle derselben denjenigen der tieferen Klassen gleich nähme.

6. Capitel.

Versuche nach der Methode der übermerklichen Unterschiede.

§ 57.

Ueber die Ausbildung und Anwendung, welche die Methode der übermerklichen Unterschiede durch Plateau und insbesondere durch Delboeuf erlangt hat, ist bereits in § 31 ff. Näheres bemerkt. Wir erwähnen hier nur noch kurz die Resultate, welche Delboeuf bei Benutzung dieser Methode betreffs der Gültigkeit des Weber'schen Gesetzes erhielt.

Wie in § 31 näher dargelegt, führte Delboeuf seine Versuche in der Weise aus, dass er mittels weisser Sektoren, welche vor einem dunklen Raume rotirten, 3 an einander angrenzende und 2 gleich deutliche Helligkeitscontraste bildende Lichtzonen herstellte, von denen die äussere die lichtschwächste und die innere die intensivste war, und deren Helligkeitsverhältnisse sich aus den Winkelbreiten der rotirenden Sektoren, bez. Sectorabschnitte, jeder Zone berechneten. Bezeichnen wir wie früher die Winkelbreite der Sectorabschnitte der äusseren Zone mit δ , diejenige der Sectorabschnitte der mittleren, bez. inneren, Zone mit δ' , bez. δ'' , so hätte dem Weber'schen Gesetze gemäss nach erreichter Gleichheit der beiden Contraste allgemein $\delta : \delta' = \delta' : \delta''$ sein müssen. Dies war aber nur innerhalb eines gewissen, sehr engen Gebietes von Helligkeiten merklich der Fall. Die Werthe von δ'' , welche der ersten Versuchsreihe Delboeuf's in Tabelle I (vergl. § 33) entsprechen, stimmen im Allgemeinen sehr annähernd mit dem Weber'schen Gesetze überein; weniger bereits die Werthe von δ' , welche sich bei der dritten, unter anderen Beleuchtungsverhältnissen angestellten Versuchsreihe jener Tabelle herausstellten und auf eine Zunahme der relativen Unterschiedsempfindlichkeit bei wachsender absoluter Lichtstärke hinweisen. Die sogenannten unteren Abweichungen vom Weber'schen Gesetze constatirte Delboeuf in sehr einfacher Weise auch durch den Nachweis, dass, wenn bei gewisser, nicht zu heller Beleuchtung die beiden von den 3 Lichtzonen gebildeten Helligkeitscontraste in gleicher Intensität hergestellt worden seien, die Gleichheit beider Contraste schwinde, sobald die Beleuchtung des Apparates

erhöht oder verringert werde; und zwar contrastirte im letzteren Falle die innere (lichtstärkste) Zone zu sehr mit der mittleren (mittelhellen) Zone, so dass, um die Gleichheit beider Helligkeitsunterschiede wieder herzustellen, die Grösse δ' verringert werden musste; das Entgegengesetzte fand im ersteren Falle statt. Während z. B. die Intensität der Beleuchtung der rotirenden Scheibe bei einer allerdings nicht mit möglichster Sorgfalt angestellten Versuchsreihe Delboeuf's successiv in dem Maasse verringert wurde, dass sich die beiden Extreme derselben wie 256 zu 1 verhielten, verminderte sich, obwohl $\delta = 13$ und $\delta' = 41$ constant blieben, der Werth von δ' , der für die Gleichheit der beiden Contraste erforderlich war, allmählich von 127,8 bis etwa auf 89. Discutiren wir dieses und ähnliche Beobachtungsergebnisse etwas näher. Die Thatsache, dass z. B., wenn $\delta = 13$ und $\delta' = 41$, mithin die Helligkeit der mittleren Zone $\frac{41}{13}$, d. i. 3,154, Mal so gross war als die der äusseren, lichtschwächsten Zone, die Helligkeit der inneren Zone nur c. $\frac{89}{41}$, d. i. 2,171, Mal so gross zu sein brauchte als die der mittleren Zone, um einen gleich intensiven Contrast mit dieser darzubieten, als diese mit der äusseren Zone bildete, besagt offenbar, dass innerhalb gewisser Intensitätsstufen die relative Unterschiedsempfindlichkeit bei Steigerung der absoluten Helligkeit ziemlich schnell zunimmt. Da nun aber dann, wenn alle 3 Helligkeiten in gleichem Verhältnisse erhöht wurden, die Helligkeit der inneren Zone mit der mittleren Lichtzone einen weniger intensiven Contrast bildete, als diese mit der äusseren Zone darbot, und demgemäss zur Wiederherstellung der Gleichheit beider Contraste erforderlich war, die Winkelbreite δ' der weissen Sectorabschnitte der inneren Zone zu vergrössern, so folgt ferner, dass die Zunahme, welche die relative Unterschiedsempfindlichkeit bei einer bestimmten Vervielfachung der absoluten Helligkeit, z. B. bei Erhöhung derselben auf das 3,154fache, erfährt, um so geringer ist, je grösser die absolute Helligkeit bereits ist. Wir können daher kurz sagen, dass nach den Untersuchungen Delboeuf's die relative Unterschiedsempfindlichkeit innerhalb eines weiten Gebietes von Lichtintensitäten mit Steigerung der absoluten Lichtstärke zunimmt und zwar so, dass ihre Zunahme bei gleicher Verstärkung (d. i.

Erhöhung um das gleiche Quantum), ja selbst bei gleicher Vervielfachung (d. i. Erhöhung in gleichem Verhältnisse) der Reizstärke um so geringer wird, je grösser die vorhandene, zu verstärkende Reizintensität bereits ist.

Dass nun diese Zunahme der relativen Unterschiedsempfindlichkeit bei steigender absoluter Lichtstärke innerhalb eines gewissen Gebietes mittlerer Helligkeiten allmählich ganz aufhört und den sogenannten oberen Abweichungen vom Weber'schen Gesetze entsprechend weiterhin sogar eine allmähliche Abnahme der relativen Unterschiedsempfindlichkeit eintritt, geht gleichfalls aus den Untersuchungen Delboeuf's hervor, vor Allem aus einer mit grosser Sorgfalt angestellten, von Delboeuf (a. a. O. S. 73) näher mitgetheilten Versuchsreihe, bei welcher ebenfalls $\delta = 13$ und $\delta' = 41$ constant blieben und nun ermittelt wurde, welche Werthe δ' bei verschiedener Beleuchtung erhalten musste, damit die beiden Contraste gleich intensiv erschienen. Es stellte sich heraus, dass δ' bei düsterem Tageslichte = 122,3, bei grauem Himmel = 126,3, bei heller Tagesbeleuchtung = 129,4 und endlich bei gleichfalls heller Tagesbeleuchtung, aber Anstellung der Versuche unter freiem Himmel = 137 genommen werden musste. Der zuletzt angeführte Werth 137 deutet ganz offenbar auf das Bestehen der sogenannten oberen Abweichungen vom Weber'schen Gesetze hin, da ja in diesem Falle $\frac{\delta''}{\delta} > \frac{\delta'}{\delta}$ ist, während die beiden ersten Werthe auf das Gebiet der sogenannten unteren Abweichungen hinweisen, innerhalb dessen $\frac{\delta''}{\delta} < \frac{\delta'}{\delta}$ erhalten werden musste.

Wie schon in § 31 bemerkt, beschränkte sich übrigens Delboeuf nicht darauf, in der angegebenen Weise bloss 3 an einander angrenzende Lichtzonen herzurichten, sondern er stellte auch (vergl. Delboeuf, a. a. O. S. 96 ff.) auf Grund einer für die Beziehung zwischen Reizstärke und Empfindungsintensität abgeleiteten Formel, welche eine allmähliche Zunahme der relativen Unterschiedsempfindlichkeit bei wachsender absoluter Reizstärke ergibt, mittels des Principes der rotirenden Scheiben eine grössere Anzahl und gewissermaassen eine ganze Stufenleiter an einander angrenzender Helligkeiten her, deren jede mit den beiden benachbarten Helligkeiten in ganz gleichem Maasse

zu contrastiren schien; ja es gelang ihm sogar, auf Grund jener Formel einen weissen Carton von continuirlich sich verändernder Breite herzustellen, der bei seiner Rotation über dem schwarzen Grunde in continuirlicher, anscheinend ganz gleichmässiger Abstufung alle Helligkeiten darstellte, die zwischen dem Schwarz des dunklen Grundes und einer bestimmten, weissen Helligkeit eingeschlossen waren. Natürlich besitzen Versuche dieser Art, bei denen man auf Grund irgend welcher Formel bestimmte Helligkeiten herstellt und dann nachträglich darüber urtheilt, ob die Abstufung derselben, wie vorausgesetzt wird, wirklich eine vollkommen gleichmässige sei, im Allgemeinen nicht dieselbe Beweiskraft wie die anderen Versuche Delboeuf's, bei denen eine von 3 gegebenen, an einander angrenzenden Helligkeiten allmählich so lange abgeschwächt, bez. erhöht, wurde, bis die Gleichheit der beiden vorhandenen Contraste erreicht schien. Hatte übrigens Delboeuf bei bestimmter Beleuchtung eine solche Stufenleiter gleichmässig abgestufter Helligkeiten hergestellt, so schwand, ganz in Uebereinstimmung mit den oben besprochenen Beobachtungen, die Gleichmässigkeit der Abstufung, sobald die Beleuchtung merklich geändert wurde, und zwar hoben sich bei Steigerung der Beleuchtung die lichtschwächeren Zonen deutlicher von einander ab als die helleren Zonen; das Umgekehrte fand bei Abschwächung der Beleuchtungsstärke statt.

§ 58.

Auch Breton (Cosmos, 2. Sér., T. XXXVIII, no. 2) vermochte sich mittels einiger nach der Methode der übermerklichen Unterschiede angestellter Beobachtungen davon zu überzeugen, dass das Weber'sche Gesetz durchaus keine uneingeschränkte Gültigkeit im Gebiete des Gesichtssinnes besitzt. Breton stellte dadurch, dass er auf einer bestimmten Fläche gleich viele kleine weisse und kleine schwarze Felder von derselben Grösse abwechselnd auf einander folgen liess, eine Fläche her, welche, aus einiger Entfernung betrachtet, in Folge der Irradiation des Lichtes im Auge annähernd den Eindruck einer Fläche machte, welche nur halb so hell ist als eine Fläche, die in allen ihren Theilen die Helligkeit der kleinen weissen Felder besitzt. Ebenso stellte er, indem er die Zahl der kleinen schwarzen Felder 3 Mal so gross sein liess als diejenige der

kleinen weissen Felder, eine Helligkeit her, die sich zur Lichtstärke der ausschliesslich weissen Fläche annähernd wie 1:4 verhielt. Befanden sich nun 3 derartige Flächen, die sich, aus einiger Entfernung betrachtet, ihren Helligkeiten nach annähernd wie die Zahlen 1, 2, 4 zu einander verhielten, neben einander, so hob sich, wie Breton fand, in Widerspruche zu dem Weber'schen Gesetze die lichtstärkste Fläche weit mehr von der mittelhellen Fläche ab, als sich diese von der lichtschwächsten unterschied. Indem Breton ferner von 11 auf einander folgenden, grösseren Feldern einer weissen Fläche das erste unverändert liess, auf dem zweiten eine Schicht von bestimmter Tusche anbrachte, das dritte mit 2, das vierte mit 3 gleichen Schichten derselben Tusche bedeckte, u. s. f., stellte er eine Stufenleiter von 11 Helligkeiten her, welche eine geometrische Reihe bildeten, und deren Extreme sich wie 1:4 zu einander verhielten. Bei Betrachtung dieser Helligkeitsskala zeigte es sich nun, dass bei schwacher Beleuchtung der Unterschied zwischen dem allerehellsten und dem zweithellsten Felde weit deutlicher sei als derjenige zwischen dem letzteren und dem dritthellsten Felde, und dass überhaupt die Deutlichkeit des Unterschiedes zweier benachbarter Felder dem Weber'schen Gesetze entgegen mit der absoluten Helligkeit derselben sich in sehr merklichem Maasse verringere.

7. Capitel.

Versuche mit farbigem Lichte.

§ 59.

Schon in den vorstehenden Capiteln dieses Abschnittes sind wir einzelnen mit farbigen Helligkeiten angestellten Beobachtungsreihen von Fechner, Arago und Masson (vergl. §§ 36, 39 und 44) begegnet, und wir haben gesehen, dass diese Forscher festgestellt zu haben glauben, dass die Grösse des eben merklichen Helligkeitszuwuchses von der Wellenlänge des einwirkenden Lichtes unabhängig sei. Indessen wir haben uns überzeugt, dass die Sicherheit, mit welcher die Beobachtungen jener Forscher dieses Resultat ergaben, nur eine sehr geringe war. Ebenso wenig

wie aus den absichtlich mit farbigem Lichte angestellten Versuchen dieser Forscher kann aus dem Umstande, dass viele der bisher besprochenen Experimentaluntersuchungen, welche angeblich bei Benutzung weissen Lichtes angestellt wurden, thatsächlich bei mehr oder weniger farbiger Beleuchtung stattfanden*), darauf geschlossen werden, dass die Farbe einer Helligkeit ohne Einfluss auf die Grösse des eben merklichen Helligkeitszuwuchses sei. Denn einerseits sind die Farbenunterschiede jener Helligkeiten nur gering, andererseits stehen die unter verschiedenen Versuchsumständen gefundenen Werthe des eben merklichen (weisslichen) Lichtunterschiedes in nichts weniger als so grosser Uebereinstimmung, dass es nicht erlaubt wäre, einen Einfluss der Lichtfärbung auf die Grösse des eben merklichen Unterschiedes anzunehmen. Doch es bedarf kaum dieser Bemerkungen, da die im Folgenden zu besprechenden Untersuchungen mehrerer Forscher, welche darauf ausgingen, die relative Unterschiedsempfindlichkeit unter Anwendung farbiger Beleuchtungen genauer zu prüfen, die Abhängigkeit des eben merklichen Lichtunterschiedes von der Wellenlänge des einwirkenden Lichtes ganz ausser Frage stellen.

Zunächst ist zu bemerken, dass auch Aubert (a. a. O. S. 149 f.) einige anscheinend hierher gehörige Beobachtungen angestellt hat. Aubert bediente sich einer schwarzen Papierscheibe, auf welcher ein farbiger, rother oder blauer oder orange-farbener, Sectorabschnitt von 1° Winkelbreite aufgeklebt war. Ueber diese Scheibe schob er in der früher angegebenen Weise (vergl. § 46) eine andere, mit jenem Sectorabschnitte gleichfarbige Papierscheibe so weit, bis der durch den farbigen Sectorabschnitt von 1° bewirkte lichtstärkere Kranz eben noch wahrgenommen wurde, wenn die beiden in einander geschobenen Papierscheiben auf einer sehr schnell rotirenden Scheibe befestigt worden waren. Bei diesen Versuchen Aubert's kann offenbar der Sättigungsgrad der beobachteten farbigen Helligkeiten kein grosser gewesen sein, weil einerseits die schwarzen Theile der

*) So ist das Licht einer Kerze, wie aus der Erscheinung der farbigen Schatten bekannt ist, rothgelber und das Licht einer Carcel'schen Lampe (nach Bond, vergl. Zöllner, Phot. Unters. S. 83) röthlicher Färbung; und das Sonnenlicht besitzt bekanntermaassen ebenso wie der elektrische Funken eine nach Umständen verschiedene Färbung.

rotirenden Papierfläche eine merkliche Quantität weissen Lichtes reflectirten, andererseits auch die farbigen Theile der rotirenden Scheibe eine gewisse Menge weissen Lichtes zurückstrahlten. Da ferner Aubert die relative Unterschiedsempfindlichkeit nur für eine einzige Intensität jeder der 3 verschiedenen Farben untersuchte, so lässt sich offenbar auf Grund dieser Versuche Aubert's nicht das Geringste darüber behaupten, ob und beziehentlich in welcher Weise sich die relative Unterschiedsempfindlichkeit mit der Wellenlänge des einwirkenden Lichtes ändere, und in welchem Maasse das Weber'sche Gesetz für die verschiedenen Farben Gültigkeit besitze.

§ 60.

Weit zweckentsprechender als diese Beobachtungen Aubert's waren die von Lamansky (Arch. f. Ophth. XVII, 1, S. 123 ff.) angestellten Untersuchungen „über die Grenzen der Empfindlichkeit des Auges für Spectralfarben“, weil sie sich über eine grössere Anzahl von Farbentönen und für jeden Farbenton über eine ziemliche Anzahl verschiedener Intensitäten erstreckten, und weil sie an Farben des Sonnenspectrums angestellt wurden, die sich bei weitem reiner und gesättigter herstellen lassen als Pigmentfarben. Das von Lamansky auf Helmholtz's Vorschlag befolgte Versuchsverfahren beruht auf dem bekannten physikalischen Principe, nach welchem das theilweise polarisirte Licht in den doppelbrechenden Krystallen in zwei Bündel von verschiedener Helligkeit zerfällt. Lamansky isolirte eine Farbe aus dem Sonnenspectrum in einem schmalen Streifen, indem er im Fernrohre des gewöhnlichen Spectralapparates 2 Spalten herstellte. Er nahm hierbei das Ocular aus dem Fernrohre und stellte durch eine Spalte das ganze Spectrum in Form eines schmalen Streifens dar. Die zweite Spalte diente dazu, einzelne Farben aus diesem schmalen Spectrum zu isoliren; und der so hergestellte, zweite, einfarbige Streifen wurde mittels eines doppelten Kalkspathprismas betrachtet. Die unter solchen Umständen wahrgenommenen 2 farbigen Bilder waren von derselben Helligkeit, so lange das auf das Prisma einfallende Licht natürliches Licht war; wurde hingegen das einfallende Licht zum Theil polarisirt, indem es durch einen Satz von planparallelen Glasplatten unter einem gewissen Winkel gebrochen wurde, so

entstand eine merkliche Verdunkelung des einen farbigen Bildes, welches so dicht an das andere, gleichfarbige Bild angrenzte, dass beide durch nichts von einander unterscheidbar waren als allein durch ihren Helligkeitsunterschied. Die Beobachtungen wurden sämmtlich in dunkelern Raume ausgeführt. Die von einem Heliostatenspiegel ausgehenden Sonnenstrahlen wurden nicht direct auf die Spalte des Spectralapparates gelenkt, sondern es wurde durch sie eine Scheibe von mattem Glase beleuchtet, damit die Lichtquelle eine möglichst gleichmässige sei. Zwischen der matten Glasscheibe und der Spalte des Spectralapparates wurde ein Satz von 2 planparallelen Glasplatten auf der Kreistheilung eines Theodolithes aufgestellt. Mit dieser Kreistheilung wurde der Einfallswinkel, d. i. der Winkel, welchen der einfallende Lichtstrahl mit der Normalen der Glasplatten bildete, gemessen. Nachdem durch Einstellung unter einem gewissen Winkel eine deutliche Verdunkelung des einen farbigen Bildes bewirkt worden war, wurde der Einfallswinkel allmählich verringert, bis der Helligkeitsunterschied beider Bilder eben nicht mehr wahrgenommen werden konnte. Durch Messung des Einfallswinkels, bei welchem dies stattfand, liess sich dann der eben nicht mehr merkliche relative Helligkeitsunterschied in nicht weiter auszuführender Weise berechnen. Die Intensitäten der beobachteten Spectralfarben liessen sich dadurch variiren, dass man der Spalte, durch welche das Licht auf das Prisma fiel, verschiedene Weiten gab.

Was die Resultate dieser Versuche Lamansky's betrifft, so geht aus denselben erstens hervor, dass die Empfindlichkeit für relative Helligkeitsunterschiede farbigen Lichtes gleichfalls von der Intensität der vorhandenen Lichtreizung abhängig ist und zwar bis zu gewisser Grenze mit derselben anwächst, dann aber eine gewisse Zeit hindurch merklich constant bleibt und zuletzt bei fortgesetzter Steigerung der Reizintensität wieder abnimmt. Und zwar scheint die Annäherung, mit welcher das Weber'sche Gesetz gilt, nach diesen Versuchen für die verschiedenen Farben eine verschiedene, z. B. für Roth und Orange eine nicht unbedeutend grössere als für Violett und Blau zu sein. Für die letztgenannte Farbe hat Lamansky möglicher Weise noch gar nicht diejenige Lichtstärke erreicht, bei welcher das Maximum der relativen Unterschiedsempfindlichkeit eintritt. Ein zweites wichtiges Ergebniss der Beobachtungen Lamansky's ist dieses,

dass das Maximum der relativen Unterschiedsempfindlichkeit für verschiedene Spectralfarben beträchtlich verschieden sein kann. Denn berechnen wir nach den Versuchsangaben Lamansky's die Grössen, welche der eben unmerkliche Helligkeitsunterschied bei der geringsten und bei der grössten der benutzten Spaltweiten besass, so ergibt sich der relative Werth dieses Unterschiedes*)

bei einer Spaltweite von 0,12 mm.:		bei einer Spaltweite von 1,2 mm.:	
für Violett gleich	$\frac{1}{31}$	gleich	$\frac{1}{101}$
„ Blau „	$\frac{1}{40}$	„	$\frac{1}{284}$
„ Grün „	$\frac{1}{81}$	„	$\frac{1}{278}$
„ Gelb „	$\frac{1}{51}$	„	$\frac{1}{278}$
„ Orange „	$\frac{1}{42}$	„	$\frac{1}{77}$
„ Roth „	$\frac{1}{35}$	„	$\frac{1}{71}$

Die bei einer Spaltweite von 1,2 mm. erhaltenen Werthe des eben unmerklichen relativen Helligkeitsunterschiedes sind im Allgemeinen mit den Minimalwerthen dieses Unterschiedes identisch; nur für Violett und Gelb ist das Minimum dieses Unterschiedes um sehr Geringes kleiner anzunehmen, da, wie es scheint, Lamansky für diese Farben bei einer Spaltweite von 1,2 mm. bereits dasjenige Gebiet von Helligkeiten erreicht hatte, innerhalb dessen die relative Unterschiedsempfindlichkeit bei wachsender Lichtstärke wieder abnimmt. Wie man sieht, ist das Maximum der relativen Unterschiedsempfindlichkeit für die verschiedenen Spectralfarben zum Theil ein ganz beträchtlich verschiedenes. Zu beachten ist, dass dasselbe zwar für Roth und Orange geringer ist als für die übrigen Farben, aber doch, insbesondere wegen der wenig hohen Empfindlichkeit für Helligkeitsunterschiede violetten Lichtes, nicht allgemein behauptet werden darf, dass die relative Unterschiedsempfindlichkeit mit der Brechbarkeit des einwirkenden Lichtes zunehme.

Eine eingehendere Discussion der von Lamansky erhaltenen Versuchsergebnisse scheint uns nicht geboten, da den Einzelheiten

*) Die angeführten Werthe dieses Unterschiedes haben wir abweichend von Lamansky in der Weise berechnet, dass wir als Brechungscoefficienten für Crown Glas — aus diesem Glase bestanden nämlich die beiden Glasplatten, die dazu dienten, einen Theil des einfallenden Lichtes zu polarisiren — nicht einen und denselben Werth (1,532) für alle Farben zu Grunde legten, sondern, in Anschluss an die von Frauenhofer beobachteten Brechungscoefficienten für Crown Glas no. 9, den 6 Farben der obigen Tabelle 6 verschiedene Brechungscoefficienten entsprechen liessen.

derselben zunächst doch nur eine individuelle Bedeutung zuzusprechen ist, und auch die Genauigkeit dieser Versuche — von der in § 21 hinlänglich dargelegten Mangelhaftigkeit jeder isolirten Anwendung der Methode der eben unmerklichen Unterschiede ganz abgesehen — keineswegs die grösstmögliche zu sein scheint. Lamansky hat nämlich ganz übersehen, dass schon bei der Reflexion am Heliostatenspiegel und auch beim Durchgange durch das Prisma ein Theil des einfallenden Lichtes polarisirt werden musste, und in Folge dessen auch dann, wenn die beiden Glasplatten nicht vorhanden waren, die Helligkeiten der beiden beobachteten, farbigen Bilder etwas verschieden sein mussten. Allerdings dürfte in solchem Falle die Quantität des polarisirten Lichtes nur eine sehr geringe gewesen sein, wie auch daraus zu erhellen scheint, dass Lamansky sagt, dass, so lange das auf das Prisma fallende Licht natürliches Licht gewesen sei, die beiden farbigen Bilder von ganz gleicher Helligkeit gewesen seien, aber, da es sich bei diesen Versuchen darum handelte, die relativen Grössen sehr kleiner, eben nicht mehr merklicher, durch die Polarisation des Lichtes bewirkter Helligkeitsunterschiede zu bestimmen, so dürfte jene Fehlerquelle doch einen nicht ganz zu vernachlässigenden Einfluss auf die Beobachtungsergebnisse Lamansky's gehabt haben.

Zu erwähnen ist noch, dass Lamansky die Abhängigkeit der Unterschiedsempfindlichkeit von der Wellenlänge des Lichtes auch durch einige Beobachtungen bestätigt fand, die er nach dem Beispiele Helmholtz's (vergl. § 45) an einer weissen, mit radialen, schwarzen Strichen versehenen Rotationsscheibe anstellte. Bei Betrachtung mit blosssem Auge nahm er auf dieser noch einen Unterschied von $\frac{1}{135}$ wahr; wenn er jedoch ein rothes Glas vor das Auge brachte, so konnte er nur noch einen Unterschied von $\frac{1}{60}$ bis $\frac{1}{70}$ erkennen, und wenn er sich eines gelben Glases bediente, so bemerkte er noch geringere Helligkeitsdifferenzen als mit blosssem Auge.

§ 61.

Ebenso wie Lamansky bediente sich auch Dobrowolsky*) bei seinen Versuchen eines Verfahrens, das ihm Helmholtz vor-

*) Dobrowolsky im Arch. f. Ophth. XVIII, 1. S. 74 ff., Helmholtz in den Berliner Monatsber. v. 1872, S. 119 ff.

geschlagen hatte. Das von ihm angewandte Versuchsverfahren ist von allen in diesem Untersuchungsgebiete bisher benutzten Verfahrungsweisen verschieden und von gewissem Interesse, insofern bei demselben die messbare Abschwächung der zu beobachtenden Lichtintensitäten nicht durch Aenderung von Abständen, Einschiebung absorbirender Medien u. dergl. m., sondern im Wesentlichen nach dem Principe des dritten Fresnel-Arago'schen Gesetzes der Interferenz polarisirten Lichtes durch Interferenzvorgänge vermittelt wird. Es war in der Hauptsache das folgende.

Weisses Licht ging durch zwei Nicol'sche Prismen mit parallelen Hauptschnitten. Zwischen beiden Prismen stand eine 7 mm. dicke Gypsplatte, senkrecht zu und in messbarer Weise drehbar um die optische Axe der Nicols. Nachdem das Licht diese Theile passirt hatte, trat es in den Spalt eines Spectroskops und wurde in ein Spectrum ausgebreitet. Dreht man die Gypsplatte um die Axe der Nicols, so findet man 4 Stellungen, in denen sie eine Reihe Spectralfarben auslöscht und dadurch ein System dunkler Linien im Spectrum hervorbringt, 4 andere Stellungen dazwischen, in denen diese Linien gänzlich verschwinden. Mit Hülfe der Gesetze der Doppelbrechung und Polarisation lässt sich aus dem Drehungswinkel der Gypsplatte das Verhältniss zwischen den Lichtstärken der dunkleren und der helleren Streifen, die man im Spectrum erblickt, berechnen. Der Unterschied zwischen Maximum und Minimum, als Bruchtheil der Helligkeit des Minimum angegeben*), ist $\operatorname{tg}^2 2\alpha$, wenn α den Winkel bezeichnet, um welchen die Gypsplatte aus einer Stellung gedreht ist, wo ihre Hauptschnitte mit denen der Nicol'schen Prismen zusammenfallen. Der Beobachter hatte zu untersuchen, wie weit er von einer Stellung aus, wo die Streifen das Maximum ihrer Deutlichkeit besaßen, die Gypsplatte in der einen und andern Richtung drehen musste, bis die dunklen Interferenzstreifen in einem bestimmten Theile des Spectrums eben verschwanden.

Was die Genauigkeit dieses Versuchsverfahrens betrifft, so ist unseres Erachtens doch nicht ganz ausser Acht zu lassen, dass bei demselben die beiden zur Vergleichung kommenden Licht-

*) Dobrowolsky berechnete den Unterschied zwischen Maximum und Minimum als Bruchtheil der Helligkeit des Maximum und setzte denselben demgemäss gleich $\sin^2 2\alpha$.

intensitäten nicht ganz dieselbe Wellenlänge besitzen, vielmehr der Unterschied derselben eine geringe Differenz der Wellenlänge zur Voraussetzung hat. Ferner sind bei diesem Verfahren die beiden mit einander zu vergleichenden Lichtflächen, deren eben nicht mehr merklicher (relativer) Unterschied in der oben angegebenen Weise zu bestimmen ist, genau genommen nur von minimaler Ausdehnung, und der Uebergang von der einen Lichtintensität zur andern ist ein ganz allmählicher; wodurch die Unterscheidbarkeit derselben erschwert wird. In Folge der geringen Ausdehnung der beiden zu vergleichenden Helligkeiten muss auch die Irradiation des Lichtes im Auge auf die Vergleichung derselben einen nicht messbaren, störenden Einfluss ausüben.

§ 62.

Tabelle VI.

Kleinste Werthe des eben nicht mehr merklichen Helligkeitsunterschiedes.

Farbe und Frauenhofer- sche Linien	Dobrowolsky	Beobachter B.	Beobachter G.
Roth $\left\{ \begin{array}{l} A \dots\dots\dots \\ B \dots\dots\dots \\ C \dots\dots\dots \end{array} \right.$	$\frac{1}{13}$		
	$\frac{1}{18,76}$	$\frac{1}{14,95}$	$\frac{1}{10,7}$
	$\frac{1}{24,16}$		
Orange zwischen <i>C</i> und <i>D</i>	$\frac{1}{29,11}$		
Goldgelb bei <i>D</i>	$\frac{1}{44,77}$	$\frac{1}{39,86}$	$\frac{1}{26,47}$
Grün zwischen <i>D</i> und <i>E</i>	$\frac{1}{57,7}$		
Grün bei <i>E</i>			$\frac{1}{29,11}$
Blaugrün zwischen <i>E</i> u. <i>b</i>	$\frac{1}{66,33}$		
Cyanblau bei <i>F</i>	$\frac{1}{130,6}$		$\frac{1}{57,7}$
Indigo zwischen <i>F</i> u. <i>G</i> , näher an <i>G</i>	$\frac{1}{267,3}$	$\frac{1}{204,5}$	$\frac{1}{204,5}$
Violett zwischen <i>G</i> u. <i>H</i>	$\frac{1}{267,3}$		
Violett bei <i>H</i>	$\frac{1}{66,33}$		

Um vergleichbare Resultate zu erhalten, suchte Dobrowolsky nur das Maximum der Unterschiedsempfindlichkeit für jede Spec-

tralfarbe zu ermitteln, indem er Sonnenlicht, das von einem Heliostaten auf seinen Apparat reflectirt wurde, abschwächte, beziehentlich mit einer Convexlinse concentrirte, bis sich eine gewisse Unterschiedsempfindlichkeit als die grösste und innerhalb gewisser Grenzen merklich constante herausstellte. Doch muss zur vorstehenden Tabelle bemerkt werden, dass Dobrowolsky erklärt, sicher zu sein, das Maximum der für violetttes Licht bestehenden relativen Unterschiedsempfindlichkeit nicht erreicht zu haben.

Der Unterschied dieser Beobachtungsergebnisse von den Versuchsergebnissen Lamansky's ist in die Augen springend. Während letzterer Forscher für Gelb und Grün das Minimum des eben unmerklichen Helligkeitsunterschiedes = $\frac{1}{273}$ fand, beträgt dasselbe nach Dobrowolsky für Goldgelb, Grün und Blaugrün $\frac{1}{44.77}$ bis $\frac{1}{66.83}$, nach dem Beobachter G. für Goldgelb sogar $\frac{1}{27.46}$. Auch für Roth und Orange hat Dobrowolsky nebst seinen beiden Mitbeobachtern beträchtlich geringere Werthe der Unterschiedsempfindlichkeit gefunden als Lamansky. Soll man sich nun darüber entscheiden, ob die von Lamansky oder die von Dobrowolsky gefundenen Werthe der Unterschiedsempfindlichkeit als die normaleren, d. h. den bei der Mehrzahl der Menschen vorhandenen Verhältnissen mehr entsprechenden, zu betrachten seien, so wird man geneigt sein, sich für die Beobachtungsergebnisse Dobrowolsky's zu erklären, in Hinblick darauf, dass sich für die beiden Mitbeobachter desselben im Wesentlichen gleiche, nur immer etwas geringere, Werthe der relativen Unterschiedsempfindlichkeit wie für Dobrowolsky herausstellten. Indessen da Bohn (Pogg. Annal. Ergänzgsbd. VI, S. 394 ff.), dessen Versuchsmethode eine unanfechtbare war, von dessen Versuchsergebnissen wir aber leider nichts Näheres wissen, die relative Unterschiedsempfindlichkeit für Grün und dann für Roth, Blau und Violett am grössten, hingegen für Gelb am geringsten gefunden hat und sich sehr wundert, dass Lamansky, der doch für Unterschiede rothen Lichtes noch viel empfindlicher war als Dobrowolsky und dessen Mitbeobachter, für Roth eine so geringe Unterschiedsempfindlichkeit gezeigt habe, und da mithin von den 3 Beobachtern, Lamansky, Dobrowolsky und Bohn, keiner annähernd dieselben Resultate erhalten hat wie einer der anderen*), so scheint es kaum gerathen

*) Vierordt (Die Anwendung des Spectralapparates zur Photometrie

zu sein, betreffs der Abhängigkeit der Unterschiedsempfindlichkeit von der Wellenlänge des einwirkenden Lichtes zur Zeit mehr zu behaupten als dies, dass die relative Unterschiedsempfindlichkeit für die verschiedenen Spectralfarben eine zum Theil sehr beträchtlich verschiedene sei, dass diese Verschiedenheit bedeutenden individuellen Schwankungen unterliege, und dass die relative Unterschiedsempfindlichkeit nicht durchgängig mit der Brechbarkeit des beobachteten Lichtes zunehme.

Betreffs der Frage, mit welcher Annäherung das Weber'sche Gesetz für die einzelnen Spectralfarben gelte, und nach welchem Gesetze die Unterschiedsempfindlichkeit bei wachsender Lichtstärke zunehme, lässt sich aus den Versuchen Dobrowolsky's, die lediglich auf Ermittlung der Maxima der Unterschiedsempfindlichkeiten gerichtet waren, nur wenig entnehmen. Dobrowolsky bemerkt im Allgemeinen, dass bei Verstärkung der Lichtintensität die Unterschiedsempfindlichkeit für alle Farben bis zu einer gewissen Grenze zugenommen habe, in deren Nähe sie meist eine constante geblieben sei. Ueber diese Grenze hinaus habe bei zu grosser Lichtstärke die Empfindlichkeit für Helligkeitsunterschiede bei einigen Farben abgenommen. Bei Indigoblau sei die Unterschiedsempfindlichkeit mit Erhöhung der Lichtintensität selbst bei Benutzung des allerstärksten, directen, noch durch eine Convexlinse concentrirten Sonnenlichtes immer noch gewachsen, so dass die Möglichkeit nicht ausgeschlossen bleibe, dass bei Benutzung einer noch stärkeren Intensität, als angewandt worden sei, eine noch grössere Unterschiedsempfindlichkeit habe erhalten werden können. Dabei habe jede, selbst die kleinste, Abschwächung des Sonnenlichtes oder eine geringe Undurchsichtigkeit der Atmosphäre einen so starken Einfluss auf die Unterschiedsempfindlichkeit ausgeübt, dass diese sich um das Zweifache verringert habe. Diese Beobachtung scheint uns die sehr nahe liegende und plausible Vermuthung zu bestätigen, dass die Annäherung, mit welcher das Weber'sche Gesetz für eine Farbe gelte, eine um so geringere sei, je grösser das Maximum der für dieselbe bestehenden Unterschiedsempfindlich-

etc. S. 10) fand ebenso wie Lamansky und Dobrowolsky die relative Unterschiedsempfindlichkeit bei Roth und Orange am geringsten. Der kleinste relative Werth des mittleren Fehlers wurde von Trannin (vergl. § 67) bei Gelb erhalten.

keit sei, je grösser also die Anzahl der zwischen einem sehr geringen Werthe und dem Maximalwerthe gelegenen Zwischenstadien sei, welche die relative Unterschiedsempfindlichkeit bei allmählicher Verstärkung der Reizintensität durchlaufen könne.

Ebenso wie Lamansky führte auch Dobrowolsky einige Beobachtungen an weissen, mit radialen, schwarzen Strichen versehenen Rotationsscheiben aus, die durch farbige Gläser hindurch betrachtet wurden. Aus Versuchen, die an 10 Personen angestellt wurden, ergab sich die Grösse des eben merklichen Unterschiedes rein weisser Helligkeiten im Mittel = $\frac{1}{150}$. Diese Grösse des eben merklichen Unterschiedes wurde durch Einschaltung eines blauen Glases bei einigen Personen, z. B. bei Helmholtz, vermindert, bei anderen aber nicht verändert. Hierbei ist, wie Dobrowolsky hervorhebt, zu berücksichtigen, dass das blaue Glas die einwirkende Lichtintensität vermindert, und durch diese Verringerung der Lichtstärke ein der Unterschiedsempfindlichkeit günstiger Einfluss der blauen Farbe compensirt werden kann. Einschaltung eines rothen Glases setzte die Unterschiedsempfindlichkeit bedeutend herab. Wenn dann bei längerer Betrachtung das Roth durch das sich entwickelnde complementäre Nachbild immer stumpfer wurde und in Grauroth überging, also durch die Ermüdung gegen das Roth sich der Einfluss desselben minderte, so verringerte sich die Grösse des eben merklichen relativen Unterschiedes allmählich bis auf $\frac{1}{50}$, $\frac{1}{70}$ und noch darunter.*)

*) Neuerdings (vergl. Pflüger's Arch. XII, S. 441 ff.) hat Dobrowolsky bei Anwendung des obigen, durch Interferenzvorgänge vermittelten Versuchsverfahrens auch näher untersucht, wie sich die verschiedenen Netzhautgegenden betreffs der ihnen zugehörigen Empfindlichkeit für relative Helligkeitsunterschiede farbigen Lichtes verhalten. Er fand, dass allgemein die relative Unterschiedsempfindlichkeit mit der Entfernung von der Stelle des directen Sehens abnimmt, und dass auch auf den peripherischen Netzhauttheilen die relative Unterschiedsempfindlichkeit für Blau bedeutend grösser als diejenige für Grün und diese wiederum beträchtlicher als die dem Roth entsprechende relative Unterschiedsempfindlichkeit sei. Bei Gelegenheit dieser neueren Versuche überzeugte sich Dobrowolsky davon, dass die relativen Werthe des eben unmerklichen Helligkeitsunterschiedes, welche er bei seinen früheren Versuchen für die verschiedenen Spectralfarben erhalten hatte, für seine Person noch vollkommene Gültigkeit besässen.

8. Capitel.

Rückblick auf die Resultate
sämmtlicher auf das Weber'sche Gesetz bezüglichen Untersuchungen
innerhalb des Gebietes des Gesichtssinnes.

§ 63.

Fassen wir nun mit wenigen Worten zusammen, was sich aus unseren bisherigen kritischen Erörterungen zahlreicher im Gebiete des Gesichtssinnes angestellter Experimentaluntersuchungen betreffs der Gültigkeit des Weber'schen Gesetzes innerhalb dieses Sinnesgebietes ergibt, so lässt sich kurz sagen, dass gerade diejenigen Experimentaluntersuchungen, aus denen man eine weite und genaue Gültigkeit des Weber'schen Gesetzes gefolgert hat, die Beobachtungen Fechner's mit verdunkelnden Gläsern, die Versuche von Bougnier, Arago und Masson und die früheren Schattenversuche Volkmann's sich über ein viel zu geringes Gebiet von Lichtintensitäten erstreckt haben und ausserdem auch zum grossen Theile in ihrer Ausführung mangelhaft und unzulänglich waren. Hingegen ergeben die verhältnissmässig genauen Untersuchungen Aubert's, die sich über eine sehr grosse Anzahl von Lichtintensitäten erstreckten, von denen die höchste vielleicht noch mehr als das Zehnmillionenfache der allerschwächsten betrug, dass die Empfindlichkeit für relative Unterschiede weissen Lichtes bei Steigerung der einwirkenden Lichtstärke allmählich zunimmt, bis sie einen gewissen Maximalwerth erreicht, und dann, wenn sie ihr Maximum erreicht hat, bei fortgesetzter Erhöhung der Helligkeit allmählich sich wieder verringert, ohne dass es ein einigermaassen ausgedehntes Gebiet von Lichtstärken giebt, innerhalb dessen sie als genau constant zu betrachten ist. Dieses Resultat der Aubert'schen Untersuchungen wird durch die Beobachtungen Helmholtz's, der gleichfalls fand, dass die relative Unterschiedsempfindlichkeit selbst innerhalb der mittleren Helligkeitsstufen in der Nähe ihres Maximums nicht als ganz constant betrachtet werden darf, durch die neueren Versuche Volkmann's, die weit ausgedehnten Untersuchungen Delboeuf's und einige mehr gelegentliche Beobachtungen von Breton u. A. bestätigt.*)

*) Ueber die Versuche, welche Lowne (vergl. Nature, Vol. 15, no. 379,

Auch die Beobachtungsreihen, welche, namentlich von Lamansky und Dobrowolsky, neuerdings an farbigen Helligkeiten angestellt worden sind, ergeben übereinstimmend mit den Versuchen Aubert's, dass die relative Unterschiedsempfindlichkeit allgemein eine Function der Lichtstärke ist. Für einige Farben, insbesondere für solche, für welche das Maximum der relativen Unterschiedsempfindlichkeit nicht sehr gross ist, scheint nach diesen Untersuchungen das Weber'sche Gesetz mit etwas grösserer Annäherung zu gelten, als es für weisses Licht gilt. Für andere Farben hingegen, für welche, wie z. B. für Indigoblau und gewisse Nüancen des Violett, die relative Unterschiedsempfindlichkeit sehr hohe Werthe erreicht, scheint das Gebiet der Intensitäten, für welche dieselbe als merklich constant betrachtet werden kann, nur ein sehr kleines zu sein. Dass das Weber'sche Gesetz auch für die peripherischen Netzhauttheile mit gewisser Annäherung gültig ist, geht aus der Bemerkung Dobrowolsky's (Pflüger's Arch. XII, S. 439) hervor, dass die relative Unterschiedsempfindlichkeit der Peripherie der Netzhaut an hellen sonnigen Tagen nicht grösser erhalten worden sei als bei mittlerer Helligkeit.

Es bedarf keiner weiteren Ausführung, dass die thatsächliche Gültigkeit des Weber'schen Gesetzes für den Gesichtssinn eine weit geringere ist, als es z. B. nach den Darlegungen in Fechner's „Elementen der Psychophysik“ den Anschein hat. Es hat ja auch Fechner selbst späterhin (Ueber die Frage etc., S. 1 ff.) die grössere Genauigkeit und Triftigkeit der Aubert'schen Versuchsreihen zugestanden. Wir halten es daher für überflüssig, noch einzelne Erfahrungen der wissenschaftlichen Beobachtung oder des gewöhnlichen Lebens geltend zu machen*), aus denen gleichfalls folgt, dass sich die relative Unterschiedsempfindlichkeit mit der Intensität der einwirkenden Helligkeit ändert. Nur daran wollen wir hier noch erinnern, dass die Untersuchungen von Förster, Posch, Carp, Dörinckel**) u. A.

pag. 307) jüngst angestellt hat, sind wir leider zur Zeit noch nicht näher unterrichtet.

*) Vergl. Fechner, Ps. I, S. 162 und 274, Steinheil a. a. O. S. 17, Aubert a. a. O. S. 88, A. Posch im Archiv für Augen- und Ohrenheilkunde, Bd. V, Abth. 1, S. 48 f.

**) E. Carp, Ueber die Abnahme der Sehschärfe mit abnehmender Beleuchtung u. s. w. Inauguraldiss., Marburg 1876. W. Dörinckel, Ueber die Abnahme der Accommodationsbreite in verschiedenen Stadien der

über den Einfluss, welchen die Grösse des Gesichtswinkels, unter welchem ein Object aufgefasst wird, auf die Erkennbarkeit desselben ausübt, ebenfalls gegen die Annahme einer genauen Gültigkeit des Weber'schen Gesetzes innerhalb des Gebietes des Gesichtssinnes sprechen. Ist nämlich bei gewisser Beleuchtung ein dunkles Object auf hellerem Grunde eben noch deutlich wahrnehmbar, so muss nach den Versuchsergebnissen jener Beobachter bei Abschwächung der vorhandenen Beleuchtungsstärke der Gesichtswinkel, unter welchem das Object gesehen wird, nothwendig vergrössert werden, falls dasselbe noch erkennbar bleiben soll, und umgekehrt muss die Beleuchtungsintensität nothwendig erhöht werden, wenn der Gesichtswinkel verringert wird und das Object dennoch seine Erkennbarkeit behalten soll. Hieraus ist offenbar zu schliessen, dass die Merklichkeit eines Helligkeitsunterschiedes nicht unabhängig von der Intensität der Beleuchtung ist, sondern innerhalb gewisser Grenzen bei Steigerung derselben gleichfalls zunimmt.

§ 64.

Das Bestreben aller eingehenderen, auf das Weber'sche Gesetz bezüglichen Untersuchungen im Gebiete des Gesichtssinnes wird in letzter Linie mit darauf gehen müssen, für die ausser Zweifel stehende Abhängigkeit der relativen Unterschiedsempfindlichkeit von der einwirkenden Lichtstärke eine Formel ausfindig zu machen, die den thatsächlichen Verhältnissen mit hinreichender Annäherung entspricht. Ein Versuch dieser Art ist von Aubert (a. a. O. S. 68 f.) gemacht worden. Derselbe zeigt, dass die in § 42 (Tabelle III) von uns mitgetheilten Beobachtungsergebnisse zweier seiner Versuchsreihen (Versuchsreihe II und III) ziemlich gut mit der Annahme übereinstimmen, dass die relative Unterschiedsempfindlichkeit wie der Logarithmus der Reizstärke zunehme. Auf diesen, übrigens nicht sehr glücklich angefassten, Nachweis ist jedoch, wie auch Aubert selbst meint, kein grösserer Werth zu legen, da sich derselbe auf ein verhältnissmässig nicht sehr grosses Gebiet von Lichtintensitäten bezieht und zunächst doch nur individuelle Bedeutung besitzen.

Presbyopie und über die Abnahme der Sehschärfe bei abnehmender Beleuchtung, Inauguraldiss., Marburg 1876.

würde. Uebrigens widerspricht auch die Annahme einer Formel: $U = k \log r + c$, wo U die relative Unterschiedsempfindlichkeit und r die Lichtintensität bedeutet, dem in's Gewicht fallenden Ergebnisse der Untersuchungen Delboeuf's, dass die relative Unterschiedsempfindlichkeit bei Steigerung der absoluten Lichtstärke innerhalb gewisser Intensitätsgrenzen in der Weise wächst, dass ihre Zunahme bei gleicher Vervielfachung der Lichtintensität um so geringer wird, je grösser die bereits vorhandene, zu vervielfältigende Lichtstärke ist; was mit anderen Worten so viel heisst: die relative Unterschiedsempfindlichkeit wächst bei Erhöhung der Lichtstärke langsamer, als der Logarithmus der letzteren zunimmt.

Besser als die angeführte Formel Aubert's wird diejenige Formel den Thatsachen gerecht, welche sich aus der bekannten Abänderung, die Helmholtz (Ph. O. S. 315 f.) an der Fechner'schen Fundamentalformel anbrachte, für die Beziehung zwischen der relativen Unterschiedsempfindlichkeit U und der absoluten Lichtstärke r ableiten lässt. Es ergiebt sich nach Helmholtz

$$U = \frac{kr}{(a+r)(b+r)},$$
 wo k eine Constante, a das in Einheiten von r ausgedrückte, äussere Aequivalent der beständigen subjectiven Reizung des Sehorganes und b eine Constante von sehr beträchtlicher Grösse ist. Die Vorzüge dieser Formel bestehen darin, dass sie nicht bloss auf die unteren, sondern auch auf die oberen Abweichungen vom Weber'schen Gesetze Rücksicht nimmt, und zwar ist das Maximum von U dann vorhanden, wenn $r = \sqrt{ab}$ ist; auch stimmt diese Formel mit dem oben erwähnten Ergebnisse der Versuche Delboeuf's überein. Nur wird man, wie im nächsten Paragraphen gezeigt werden wird, den unteren Abweichungen vom Weber'schen Gesetze durch die blosse Bezugnahme auf die beständige subjective Erregung des Sehorganes keineswegs ganz gerecht, und es bedarf daher die Helmholtz'sche Formel mindestens in dieser Hinsicht noch einer Correction.

Unseres Erachtens würde es aber ganz verfrüht sein, wenn man schon jetzt für den aufsteigenden oder absteigenden Ast der auf die absolute Lichtstärke bezogenen Curve der Unterschiedsempfindlichkeit oder gar für diese ganze Curve ein neues Bildungsgesetz aufstellen wollte. Denn wenn auch die bisherigen, in den vorstehenden Capiteln erörterten Untersuchungen hinreichen, um im Allgemeinen die Abhängigkeit der relativen

Unterschiedsempfindlichkeit von der Lichtstärke und auch die ungefähre Art dieser Abhängigkeit darzuthun, so sind doch auf die einzelnen Beobachtungen auch der genauesten dieser Untersuchungen ausser der Stärke-der angewandten Helligkeiten noch die verschiedensten Umstände und Verhältnisse von Einfluss gewesen, wie z. B. die im Laufe der Untersuchung zunehmende Uebung des Beobachters, die Aenderungen der Aufmerksamkeit und der absoluten Empfindlichkeit des Sehorganes u. dergl. m. Nur dann würde es sich lohnen, eingehender zu untersuchen, welche Formel die Abhängigkeit der Unterschiedsempfindlichkeit von der einwirkenden Lichtstärke am besten ausdrücke, wenn uns Untersuchungen vorlägen, von denen wir sicher wüssten, dass bei ihnen ausser der beobachteten Lichtintensität alle anderen Versuchsumstände annähernd constant blieben, oder wenn wir durch geeignete Combinationen der einzelnen Beobachtungsergebnisse die aus der Veränderlichkeit jener Umstände entspringenden Fehler hinreichend eliminiren könnten. Zur genaueren Ermittlung des Abhängigkeitsverhältnisses, in welchem die relative Unterschiedsempfindlichkeit zur Intensität der einwirkenden Helligkeit steht, würde nicht einmal dies genügen, dass während einer oder mehrerer Versuchsreihen die absolute Empfindlichkeit, die Aufmerksamkeit, der Farbenton und Sättigungsgrad der beobachteten Helligkeit, die Ausdehnung und scheinbare Grösse beider Componenten des Lichtunterschiedes, die Art des Ueberganges von der einen Helligkeit zur anderen u. dergl. m. constant bleiben, sondern es müssten auch eben diese Umstände einzeln variirt werden, damit sich zeige, ob sich die Art der Abhängigkeit der Unterschiedsempfindlichkeit von der absoluten Helligkeit je nach dem Gesichtswinkel, unter dem die Componenten des Unterschiedes erscheinen, oder je nach der Grösse der vorhandenen Erregbarkeit des Sehorganes oder je nach der Uebung des Beobachters u. dergl. m. etwas ändere. Wir haben ja schon gesehen, dass die Annäherung, mit welcher das Weber'sche Gesetz für die Lichtreize gilt, möglicher Weise je nach der Wellenlänge des einwirkenden Lichtes eine etwas verschiedene ist. Das letzte, wenn auch vielleicht nie ganz erreichbare Ziel aller Untersuchungen in diesem Gebiete wird daher die Aufstellung einer Formel sein müssen, in welcher die relative Unterschiedsempfindlichkeit als eine Function nicht bloss der Lichtstärke und der Reizbarkeit, sondern auch der Wellenlänge

des Lichtes, der Gesichtswinkel, unter denen die beiden Componenten des Helligkeitsunterschiedes gesehen werden, und anderer Umstände ähnlicher Art erscheint.

§ 65.

Auf einen Punkt möchten wir hier noch kurz eingehen, nämlich auf die Versuche, die man gemacht hat, um die beträchtlichen, unteren und oberen, Abweichungen vom Weber'schen Gesetze, die sich bei den Versuchsreihen von Aubert u. A. herausgestellt haben, zu erklären, bez. als nur scheinbare Abweichungen darzustellen. Die sogenannten oberen Abweichungen vom Weber'schen Gesetze hat man niemals für auffallend angesehen, indem man von dem Gesichtspunkte ausging, dass bei einer gewissen, sehr hohen Reizstärke eine Erregung eintreten müsse, deren Intensität durch weitere Steigerung der Reizintensität nicht mehr erhöht werde, und dass daher auch von einer Reizstärke an, die geringer sei als jene zur Hervorrufung der Maximalerregung erforderliche Reizgrösse, das dem Weber'schen Gesetze mit zu Grunde liegende Gesetz, welches das Abhängigkeitsverhältniss zwischen Reiz und Nervenirregung im Allgemeinen zu beherrschen scheine, seine Gültigkeit allmählich immer mehr verlieren müsse, weil die diesem Gesetze gemässe Auslösung von Erregungszuwüchsen durch Steigerung der Reizstärke um so mehr Hindernisse finde, je mehr sich die Reizintensität jener Grenze nähere, bei welcher das Maximum der Erregungsstärke eintritt. Hingegen hat man sich gegen die Annahme gesträubt, dass das Weber'sche Gesetz auch für das Gebiet der mittleren und insbesondere der wenig intensiven Helligkeiten nur mit sehr mässiger Annäherung gelte. Fechner (Ps. I, S. 169) hat zuerst geltend gemacht, dass das Aequivalent der sich im subjectiven Augenschwarz kundgebenden, beständigen, inneren Reizung des Sehorganes bei Berechnung der einwirkenden Reizgrösse immer mit in Anschlag zu bringen sei, und dass sich aus der Existenz jener inneren Reizung bis zu gewisser Grenze merkliche, untere Abweichungen vom Weber'schen Gesetze ergäben, wenn man dieses Gesetz nur auf die äusseren Reizgrössen beziehe. Vergleiche man z. B. 2 benachbarte, eben unterscheidbare Schatten, so füge sich thatsächlich zu jeder von diesen beiden Helligkeiten noch die Helligkeit des Augenschwarz hinzu.

Verändere man nun die Intensitäten beider Schatten durch Vorhaltung eines grauen Glases in einem gegebenen Verhältnisse, so bleibe die Helligkeit des Augenschwarz dabei unverändert und füge sich immer noch mit seiner constanten Intensität den beiden Schatten hinzu; die beiden verglichenen Helligkeiten stünden daher thatsächlich nicht mehr in demselben Verhältnisse wie vorher zu einander; ihr relativer Unterschied habe sich vielmehr verringert, und das Helligkeitsverhältniss der beiden Schatten müsse daher dem Weber'schen Gesetze gemäss erhöht werden, wenn der Unterschied derselben wieder merklich sein solle. Die von Fechner selbst späterhin (Ueber die Frage etc., S. 18 f.) zugestandene Unzulänglichkeit dieses Versuches, die unteren Abweichungen vom Weber'schen Gesetze als nur scheinbare Abweichungen darzustellen, lässt sich leicht auf folgende Weise darthun. Bezeichnen wir mit a das Aequivalent der subjectiven Reizung und mit I und I^I , mit I^{II} und I^{III} , I^{IV} und I^V u. s. w. zwei beobachtete Lichtintensitäten, deren Differenz $I - I^I$, resp. $I^{II} - I^{III}$, $I^{IV} - I^V$ u. s. w. eine eben merkliche ist, so muss offenbar, wenn wirklich die Rücksichtnahme auf die beständige subjective Erregung des Sehorganes jene Abweichungen vom Weber'schen Gesetze erklärt, für die geringen und mittleren Intensitäten allgemein

$$\frac{I - I^I}{I^I + a} = \frac{I^{II} - I^{III}}{I^{III} + a} = \frac{I^{IV} - I^V}{I^V + a} \text{ u. s. w. } = \text{const. sein.}$$

Aus der Gleichung $\frac{I - I^I}{I^I + a} = \frac{I^{II} - I^{III}}{I^{III} + a}$ ergibt sich

$$a = \frac{I^I (I^{II} - I^{III}) - I^{III} (I - I^I)}{(I - I^I) - (I^{II} - I^{III})}.$$

Berechnen wir nun nach dieser Formel die Grösse a , indem wir z. B. die Angabe Volkmann's (vergl. § 41) zu Grunde legen, dass sich für einen und denselben Beobachter (Schweigger-Seidel) die Grösse des eben merklichen Unterschiedes bei einem Kerzen-

abstande von 1 m. gleich $\frac{1}{65,6}$, bei einem Kerzenabstande von

0,5 m. gleich $\frac{1}{103}$, und bei einem Kerzenabstande von 0,25 m.

gleich $\frac{1}{195}$ herausgestellt habe. Wir setzen die Lichtintensität,

die beobachtet wurde, wenn die Entfernung des Lichtes 1 m. betrug, $= 1$. Alsdann können wir $I^I = 1$ und $I = 1 + \frac{1}{65,6}$ setzen und nun a auf zweierlei Weise berechnen, indem wir das eine Mal $I^{III} = 4$ und $I^{II} = 4 + \frac{4}{103}$, das andere Mal $I^{III} = 16$ und $I^{II} = 16 + \frac{16}{195}$ nehmen. Setzen wir zunächst $I^{II} = 4 + \frac{4}{103}$ und $I^{III} = 4$, so ergibt sich nach obiger Formel $a = 0,94$. Nehmen wir hingegen $I^{II} = 16 + \frac{16}{195}$ und $I^{III} = 16$, so findet sich $a = 2,42$. Die beiden berechneten Werthe von a stimmen also durchaus nicht mit einander überein, was doch wenigstens annähernd der Fall sein müsste, wenn die unteren Abweichungen vom Weber'schen Gesetze ihren Grund thatsächlich nur in der Existenz der beständigen subjectiven Reizung des Sehorganes hätten. Auch sind beide Werthe von a viel zu gross, da man doch wohl Bedenken tragen wird, das Aequivalent jener subjectiven Reizung 0,94 oder gar 2,42 Mal so gross anzunehmen als die Lichtintensität, welche bei Betrachtung einer weissen Fläche auf uns einwirkt, die durch eine 1 m. entfernte Stearinkerze beleuchtet wird. Zu gleichen Resultaten kommt man, wenn man die anderen Versuchsangaben Volkmann's zu Berechnungen von a benutzt; und wenn man vollends die umfangreichen Beobachtungsdaten Aubert's zu solchen Berechnungen heranzieht, so stellen sich Werthe von a heraus, die sich sogar wie 1:136 zu einander verhalten, und die gleichfalls viel zu gross sind, als dass man daran denken könnte, das Aequivalent der beständigen subjectiven Reizung des Sehorganes ihnen gleich zu setzen. Was übrigens die Methode betrifft, welche Fechner (Ps. I, S. 167) als geeignet zur Messung der Intensität jener subjectiven Reizung angegeben und Volkmann zur Anwendung gebracht hat, so beruht dieselbe auf der Voraussetzung, dass das Weber'sche Gesetz bei Mitberücksichtigung der beständigen subjectiven Erregung als nach unten hin uneingeschränkt gültig zu betrachten sei, und ist daher, wie auch Fechner selbst späterhin eingeräumt hat, ganz und gar untauglich. Wenn andererseits Aubert (a. a. O. S. 64) geltend macht, dass nach seinen Versuchen die relative Grösse des eben merk-

lichen Unterschiedes der allerschwächsten Lichtintensitäten mindestens $= \frac{1}{3}$ sei, und demnach die subjective Reizung höchstens 3 Mal so intensiv sein könne als die von dem subjectiven Eigenlichte eben unterscheidbare äussere Helligkeit, so erhebt sich vor Allem das Bedenken, dass Aubert doch nur dann aus der relativen Grösse des eben merklichen Unterschiedes der allerschwächsten Lichtintensitäten und aus der Intensität der eben von dem subjectiven Augenschwarz unterscheidbaren äusseren Helligkeit den Werth von a hätte berechnen können, wenn er zuvor die relative Grösse des eben merklichen Unterschiedes der allerschwächsten Reizintensitäten unter Mitberücksichtigung des eben zu berechnenden Werthes a bestimmt gehabt hätte.

Beifügen müssen wir noch, dass sich auch Delboeuf (a. a. O. S. 53 ff.) in ausführlicher, aber wenig gelungener Weise bemüht hat, die unteren Abweichungen vom Weber'schen Gesetze durch Bezugnahme auf die beständige innere Reizung des Sehorganes zu erklären und das äussere Aequivalent dieser Reizung unter Voraussetzung strenger Gültigkeit des Weber'schen Gesetzes im Gebiete der geringen und mittleren Lichtintensitäten zu bestimmen. Delboeuf (a. a. O. S. 68 ff.) glaubt z. B. seine Ansicht von der Bedeutung der subjectiven Reizung schon durch Anführung der Thatsache beweisen zu können, dass sich bei seinen Versuchen, wie bereits in § 57 von uns erwähnt, die Winkelbreite δ' der inneren Lichtzone von 127,8 bis etwa auf 89 verringern musste, wenn die Winkelbreiten δ und δ' der äusseren und mittleren Zone constant $= 13$, bez. $= 41$ blieben, die Intensität der Beleuchtung allmählich auf $\frac{1}{256}$ des ursprüng-

lichen Werthes verringert wurde und die Gleichheit der beiden vorhandenen Helligkeitscontraste dennoch erhalten bleiben sollte. Wenn aber wirklich die unteren Abweichungen vom Weber'schen Gesetze, welche diese Beobachtungsergebnisse Delboeuf's anzeigen, nur scheinbare Abweichungen von diesem Gesetze sind, insofern bei Berechnung der einwirkenden Reizstärke ausser der beobachteten Helligkeit noch die subjective Reizung des Sehorganes mit in Anschlag zu bringen ist, die man sich durch einen äusseren Lichtreiz, resp. einen weissen Sectorabschnitt der Rotationsscheibe von der Winkelbreite a , repräsentirt denken kann, so musste offenbar bei Delboeuf's Versuchen allgemein $\frac{\delta'' + a}{\delta' + a} = \frac{\delta' + a}{\delta + a}$,

mithin $a = \frac{\delta'^2 - \delta\delta'}{\delta + \delta' - 2\delta}$ sein. Berechnet man nun mit Hülfe dieser Formel den Werth von a , indem man $\delta = 13$, $\delta' = 41$ und $\delta'' = 89$ setzt, welche 3 Werthe nach dem oben Angeführten sich bei gewisser Beleuchtungsstärke als einander zugehörig herausstellten, so ergibt sich $a = 26,2$. Bestimmen wir aber die Grösse a mit Hülfe des anderen zu $\delta = 13$ und $\delta' = 41$ zugehörigen Werthes 127,8, den δ' bei 256 Mal so intensiver Beleuchtung besitzen musste, und multipliciren wir den so erhaltenen Werth von a , um ihn mit dem anderen Werthe 26,2 vergleichbar zu machen, mit 256, so ergibt sich $a = 85,333$, d. i. mehr als 3 Mal so gross, als es sich bei der ersteren Berechnung ergeben hat. So stimmen allerwärts die Werthe von a , die sich aus den bei verschiedener Beleuchtungsstärke erhaltenen Versuchsergebnissen Delboeuf's ableiten lassen, nicht mit einander überein; es ist daher gewiss kein Nachtheil, wenn Delboeuf (*Théorie générale etc.*, S. 17 ff.) in diesem Punkte neuerdings seine Ansicht etwas geändert hat.

In den vorstehenden Ausführungen haben wir mit Fechner, Delboeuf u. A. die Voraussetzung gemacht, dass die Empfindung des subjectiven Augenschwarz gewissermaassen nur als eine sehr niedere Intensitätsstufe der Empfindung des Weiss zu betrachten sei und demgemäss z. B. die Intensität der Empfindung des subjectiven Augenschwarz und der ihr zu Grunde liegenden Nervenregung um so geringer sei, je mehr sich das Augenschwarz, z. B. in Folge von Ermüdung des Sehorganes, vertieft habe. Es ist aber, wie wir nicht im Mindesten in Abrede stellen, die Berechtigung dieser neuerdings von Hering lebhaft bestrittenen Auffassung eine äusserst zweifelhafte, und es unterliegen schon insofern die im Vorstehenden besprochenen Versuche zur Erklärung der unteren Abweichungen vom Weber'schen Gesetze einigem Bedenken.

§ 66.

Da sich also die Bezugnahme auf die Helligkeit des subjectiven Augenschwarz nicht mehr als recht zulänglich erweisen will, so hat man neuerdings (vergl. Wundt, *Ph. Ps.* S. 312 f.) gemeint, dass die sehr beträchtlichen unteren Abweichungen vom Weber'schen Gesetze, welche sich bei Aubert's Versuchen heraus-

gestellt hätten, zum grossen Theile in dem Einflusse begründet gewesen seien, welchen der Adaptationszustand der Netzhaut auf die Unterschiedsempfindlichkeit ausübt. Dem gegenüber bemerken wir kurz Folgendes. Erstens erklärt Aubert (a. a. O. S. 68) mit Bezugnahme auf die Anstellungsweise seiner Versuche ausdrücklich, dass der Einfluss der Adaptation bei seinen Kerzenversuchen nicht sehr gross gewesen sein könne. Zweitens bemerkt Aubert (vergl. § 43), dass er bei mehreren Beobachtungsreihen mit Diaphragmaöffnungen den Einfluss der Adaptation möglichst ausgeschlossen und in Folge dessen eine gleichmässige Abnahme der Unterschiedsempfindlichkeit bei Verringerung der absoluten Lichtstärke gefunden habe. Drittens, wenn sich der Einfluss der Adaptation auf die Unterschiedsempfindlichkeit bei Aubert's Versuchen geltend gemacht hat, so hat derselbe in Folge der Art der Anordnung dieser Versuche gerade dahin gewirkt, dass die relative Unterschiedsempfindlichkeit sich für die geringeren Helligkeiten verhältnissmässig etwas zu gross herausgestellt hat. Dies geht hinlänglich aus unserer Tabelle IV in § 43 hervor, wo in Folge des sich ändernden Adaptationszustandes der Netzhaut die Unterschiedsempfindlichkeit bei Verringerung gewisser Lichtintensitäten sogar etwas zuzunehmen scheint, und wo demgemäss auch die für die geringsten Helligkeiten angegebenen Werthe des eben merklichen Unterschiedes eher verhältnissmässig zu gering als zu hoch sind. Viertens stimmen die Ergebnisse der neueren Versuche Volkmann's, der Beobachtungen Helmholtz's u. A. vollkommen mit Aubert's Versuchsergebnissen überein. Sieht man sich die Versuchsangaben aller jener Forscher näher an, so findet man, dass gemäss der Reihenfolge, in welcher dieselben bei ihren Versuchsreihen die verschiedenen Helligkeitsgebiete betreffs der Unterschiedsempfindlichkeit untersuchten, der Einfluss der Adaptation, soweit ein solcher vorhanden war, sich das eine Mal in dieser, das andere Mal in jener Richtung, z. B. das eine Mal zu Gunsten, das andere Mal zum Nachtheil der wenig intensiven Helligkeiten geltend machen musste; und doch haben jene Forscher im Grossen und Ganzen dieselben Resultate erhalten. Vor Allem möchten wir an die Versuche erinnern, welche Delboeuf nach der Methode der übermerklichen Unterschiede angestellt hat. Dass die Genauigkeit von Versuchen, bei denen man für eine Anzahl verschiedener absoluter Helligkeiten successiv die eben

merklichen oder eben unmerklichen Intensitätszuwüchse zu bestimmen sucht, durch den Einfluss des im Verlaufe der Versuchsreihe sich ändernden Adaptationszustandes der Netzhaut nicht unbeträchtlich beeinträchtigt worden sei, ist an und für sich wohl denkbar. Wenn sich aber auch dann, wenn man 3 gleichzeitig gegebene, an einander angrenzende und nur mässig verschiedene Helligkeiten bei ganz demselben Zustande der Netzhaut mit einander vergleicht und so lange in ihren Verhältnissen zu einander regulirt, bis sie 2 gleich intensive Contraste bilden, ganz dieselben Resultate ergeben, wie bei den Versuchsreihen Aubert's erhalten wurden, will man auch dann noch den Einfluss der Adaptation für die gefundenen Abweichungen vom Weber'schen Gesetze verantwortlich machen? Endlich deuten wir noch die Frage an, ob dann, wenn die von Aubert u. A. constatirten unteren Abweichungen vom Weber'schen Gesetze in Wirklichkeit nicht sowohl Abweichungen vom Weber'schen Gesetze als vielmehr, wie Wundt vermuthet, Abweichungen vom sogenannten Parallelgesetze wären, aus diesen Abweichungen vom Parallelgesetze nicht auf entsprechende Abweichungen vom Weber'schen Gesetze zu schliessen sein würde. Nach der Auffassung Fechner's (Ueber die Frage etc. S. 18 f.) wenigstens würde dieser Schluss zu ziehen sein.

Wir bestreiten nicht, dass die Versuchsergebnisse Aubert's u. A. durch den wechselnden Adaptationszustand der Netzhaut mit beeinflusst worden seien, und haben vielmehr in Mitrück-sicht auf diese Beeinflussung oben behauptet, dass die zur Zeit vorliegenden Versuchsergebnisse zur Ableitung einer bestimmten Formel für das Abhängigkeitsverhältniss, in welchem die Unterschiedsempfindlichkeit zur absoluten Lichtstärke steht, noch unzulänglich seien. Aber dennoch scheint uns unbestreitbar, dass die Art dieses Abhängigkeitsverhältnisses durch die Versuchsergebnisse von Aubert, Delboeuf u. A. im Grossen und Ganzen richtig bestimmt wird. Wundt beruft sich auf den beträchtlichen Einfluss des Adaptationszustandes der Netzhaut, der sich dann beobachten lässt, wenn man aus einem ganz dunkelen Raume plötzlich in einen hellen Raum übertritt und umgekehrt. Aber dies sind extreme Fälle, denen Aehnliches bei den maassgebenden derjenigen Versuche, welche Aubert u. A. zur Prüfung des Weber'schen Gesetzes anstellten, nicht vorkam. Allerdings hat Aubert, wie Wundt anführt, einmal gefunden, dass bei

gewisser, geringer Helligkeit die relative Grösse des eben merklichen Unterschiedes für das nicht adaptirte Auge $\frac{1}{4}$ betrage, während sie bei adaptirter Netzhaut bis auf $\frac{1}{25}$ herabgehe. Aber warum verminderte sich dieselbe nicht bis auf den Werth $\frac{1}{186}$, den Aubert bei gewissen mittleren Lichtintensitäten erreichte? Auch war ja die Helligkeit, bei welcher der eben merkliche Unterschied allmählich bis auf $\frac{1}{25}$ herabging, bei weitem nicht die schwächste aller wahrnehmbaren Helligkeiten. Unterhalb derselben gab es noch ein ziemlich grosses Gebiet weit schwächerer Lichtintensitäten, bei deren Benutzung Aubert mit adaptirtem Auge die relative Grösse des eben merklichen Unterschiedes sogar noch kleiner als $\frac{1}{4}$ fand.

§ 67.

Wie wenig man zur Zeit berechtigt ist, die mittels der sogenannten Methode der mittleren Fehler erhaltenen Resultate als Maass der Unterschiedsempfindlichkeit zu betrachten, haben wir in § 24 ff. hinlänglich gezeigt. Wir sind daher auf die nach dieser Methode im Gebiete des Gesichtssinnes angestellten Versuche gar nicht eingegangen und führen nur anhangsweise die Resultate derselben hier an. Steinheil (a. a. O. S. 75 ff.) fand bei Benutzung dreier nur mässig verschiedener, weisser Helligkeiten den mittleren Fehler $= \frac{1}{33,24}$. Trannin*) fand,

dass der mittlere Fehler vom Roth des Spectrums bis zum Gelb allmählich abnehme und von dort bis zum Violett wieder anwachse; dabei sei die Aenderung im Roth besonders gross. Mit Aenderung der Intensität ändere sich auch die Unterschiedsempfindlichkeit, und wahrscheinlich gebe es für jede Strahlen-gattung eine bestimmte Intensität, welcher eine genaueste Einstellung entspreche. Sei die Intensität zu gross oder zu klein, so verliere das Auge die Fähigkeit, kleine Intensitätsdifferenzen zu unterscheiden. W. Camerer (Klin. Monatsbl. f. Augenheilk., Jahrg. XV, S. 54 ff.), der farbenblind ist und nur über verschiedene Nüancen des Blau und Gelb verfügt, fand den mitt-

*) Journal de phys., T. V, p. 297, uns nicht zu Händen gekommen; Referat in den Beiblättern zu den Annalen der Ph. u. Ch., Bd. I, St. 2.

leren Fehler für Roth (d. h. für den an Stelle des Roth im Spectrum von ihm wahrgenommenen Farbenton) = $\frac{1}{36}$, für Orange = $\frac{1}{48}$, für Gelb = $\frac{1}{36}$, für Grün = $\frac{1}{37}$, für Blau = $\frac{1}{32}$ und für Violett = $\frac{1}{19}$. Es scheint aber, als habe Camerer bei diesen Versuchen den Einfluss der absoluten Helligkeit auf die relative Unterschiedsempfindlichkeit gar nicht beachtet; es wird uns wenigstens nichts darauf Bezügliches mitgetheilt.

9. Capitel.

Gewichtsversuche.

§ 68.

Unter dem Namen „Gewichtsversuche“ fassen wir alle diejenigen Versuche zusammen, bei denen Gewichte als Sinnesreize dienten, sei es, indem sie nur durch den Druck wirkten, den sie auf die Haut eines auf einer Unterlage ruhenden Gliedes ausübten, sei es, indem sie in die Höhe gehoben und mittels des Druck- und Muskelsinnes oder mittels des letzteren Sinnes allein mit einander verglichen wurden. Es giebt also genau genommen 3 verschiedene, wohl von einander zu unterscheidende Arten von Gewichtsversuchen; was auch E. H. Weber (Annot. Anat. S. 81 ff., Tasts. u. Gemeingef. S. 543 ff.), zu dessen Versuchen wir uns zunächst wenden, sehr wohl bedacht hat, da er es sich angelegen sein liess, die Empfindlichkeit für Gewichtsunterschiede in allen 3 Fällen zu untersuchen. Die hierher gehörigen Versuche E. H. Weber's, bei denen nur der sogenannte Drucksinn in's Spiel kam, waren kurz folgender Art.

Von den beiden Händen der Versuchsperson, die ruhend und unbewegt auf dem Tische lagen, wurde jede an einer und derselben Stelle zu gleicher Zeit mit einem Gewichte von 32 Unzen oder Drachmen belastet*); dann wurden die beiden Gewichte wieder von den Händen entfernt und das eine ein wenig ver-

*) Zwischen der Hautoberfläche und dem Gewichte befand sich bei Weber's Versuchen immer eine kleine Pappscheibe von constanter Grösse. Weber wollte hierdurch den schädlichen Einfluss verschiedener Temperatur und Grösse der zu vergleichenden Gewichte aufheben.

mit dem Unterschiede, dass bei diesen Versuchen die Hände nicht unbewegt auf der Unterlage liegen blieben, sondern mit den Gewichten erhoben wurden. Bei diesem Verfahren kam offenbar ausser dem Drucksinne auch der Muskelsinn in Betracht, und Weber fand deshalb bei diesen Versuchen die Unterschiedsempfindlichkeit beträchtlich grösser als bei jenen Versuchen, wo allein der Drucksinn in Thätigkeit versetzt wurde. Während bei jenen Versuchen das eben merkliche Decrement eines 32 Gewichtseinheiten schweren Gewichtes im Mittel 10 bis 11 Einheiten betrug, erreichte dasselbe bei diesen Versuchen im Mittel nur die Grösse von 3 Einheiten. Folgende Tabelle enthält die von Weber Beispiels halber mitgetheilten Versuchsergebnisse.

Tabelle VII.

Versuchsperson	Eben merklich verschiedene Gewichte (U — Unzen, D — Drachmen)		Relative Grösse des eben merklichen Unterschiedes
I	32 U	30 $\frac{1}{2}$ U	$\frac{1}{20,333} \dots$
	32 D	30 D	$\frac{1}{15}$
II	32 U	30 $\frac{1}{2}$ U	$\frac{1}{20,333} \dots$
	32 D	30 D	$\frac{1}{15}$
III	32 U	26 U	$\frac{1}{4,333} \dots$
	32 D	26 D	$\frac{1}{4,333} \dots$
IV	32 U	30 U	$\frac{1}{15}$
	32 D	29 D	$\frac{1}{9,666} \dots$

Nur die auffallend geringen und daher höchstwahrscheinlich etwas ungenauen Werthe des eben merklichen Gewichtsunterschiedes, welche mit Hülfe der dritten Versuchsperson erhalten worden sind, stimmen mit dem Weber'schen Gesetze vollständig überein; die mittels der 3 anderen Versuchspersonen gefundenen Werthe ergeben eine nicht ganz unbeträchtliche Zunahme der relativen Unterschiedsempfindlichkeit bei Steigerung der Reizstärke. Da nicht anzunehmen ist, dass Weber gerade die dem von ihm aufgestellten Gesetze am wenigsten günstigen Beobachtungsergebnisse Beispiels halber mitgetheilt habe, so dürfte demnach aus den in obiger Tabelle angeführten Versuchsergebnissen weit eher, als auf volle Gültigkeit des Weber'schen Gesetzes, darauf zu schliessen sein, dass die Empfindlichkeit für

relative Unterschiede gehobener Gewichte wenigstens innerhalb gewisser Grenzen bei Erhöhung der absoluten Gewichtsgrösse gleichfalls etwas zunehme. Diese letztere Schlussfolgerung wird auch durch folgende Beobachtung Weber's bestätigt. Weber theilt gelegentlich (Annot. Anat. S. 141) mit, dass er 2 Gewichte von $7\frac{1}{2}$ und 6 Unzen, die, successiv auf den 2ten und 3ten Finger derselben Hand niedergesetzt, von ihm emporgehoben worden wären, ohne dass er Kenntniss von den Grössen beider Gewichte besessen habe, noch richtig von einander habe unterscheiden können, wenn der Zeitraum zwischen den beiden Hebungen 60, ja selbst wenn er 120 Secunden betragen habe. Wenn jedoch 2 kleinere Gewichte, die in demselben Verhältnisse zu einander gestanden hätten, wie z. B. Gewichte von $2\frac{1}{2}$ und 2 Unzen, bei diesem Versuchsverfahren angewandt worden seien, so hätte zwar ein Zeitraum von 60 oder auch 90 Secunden, nicht aber auch ein solcher von 120 Secunden zwischen den beiden Hebungen verfliessen können, ohne dass die Vergleichung der beiden Gewichte eine unsichere geworden sei. Da allgemein der Zeitraum, der zwischen den Hebungen zweier Gewichte verlaufen darf, ohne dass die Vergleichung der Gewichte eine unsichere wird, nach Weber's Untersuchungen um so grösser ist, je merklicher bei constanter Zwischenzeit der Unterschied der beiden Gewichte ist, und da nach diesen Beobachtungen Weber's, ohne dass die Vergleichung der beiden Gewichte eine unsichere wird, die Hebungen zweier Gewichte von $7\frac{1}{2}$ und 6 Unzen durch einen grösseren Zeitraum getrennt sein können als die Hebungen zweier Gewichte von $2\frac{1}{2}$ und 2 Unzen, so ist offenbar darauf zu schliessen, dass der Unterschied der beiden ersteren Gewichte ein merklicherer ist als derjenige der beiden letzteren Gewichte, und mithin die relative Unterschiedsempfindlichkeit bei Steigerung der absoluten Gewichtsgrösse gleichfalls etwas zunimmt.

§ 70.

Wie oben angedeutet, stellte Weber endlich auch noch Versuche an, bei denen er glaubt, alle Mitwirkung des Drucksinnes bei Vergleichung der beiden Gewichte ausgeschlossen zu haben. Er liess die Versuchsperson mit der Hand die vereinigten Zipfel eines zusammengeschlagenen Tuches, in welchem ein

Gewicht hing, umfassen und mit gestrecktem oder gekrümmtem Arme in der Höhe erhalten, gab ihr dann, nachdem er ihr das Tuch abgenommen hatte, ein zweites Tuch mit einem anderen Gewichte in die Hand und wiederholte diese Operation, ohne dass die Versuchsperson die Gewichte sehen konnte, so lange, bis sich dieselbe ein Urtheil darüber gebildet hatte, welches Gewicht das schwerere sei. Weber bemerkt, bei diesem Verfahren reibe sich zwar das von der Hand umfasste Tuch an der Hand, übe aber keinen Druck auf dieselbe aus, und fasse der Beobachter das Tuch etwas fester als nöthig sei, damit es nicht aus der Hand gleite, so könne er nicht einmal aus dem Drucke, den die Hand ausüben müsse, damit ihr das Tuch nicht entgleite, einen Schluss auf die Grösse des Gewichtes ziehen. *) Weber theilt mit, dass von 10 Personen, welche 78 und 80 Unzen mittels dieses Hebungsverfahrens mit einander verglichen hätten, nur 2 das schwerere Gewicht nicht von dem leichteren hätten unterscheiden können, und behauptet in Hinblick hierauf, „dass wohl die Mehrzahl der Menschen auch ohne vorausgehende längere Uebung durch das Gemeingefühl der Muskeln 2 Gewichte unterscheiden könne, die sich wie die Zahlen 39 : 40 verhalten.“ Diese Versuche Weber's sind zweifelsohne von gewissem Werthe; aber da sie die Grösse der Unterschiedsempfindlichkeit nur für

*) Fechner bemerkt (Ps. I, S. 199), dass, wenn auch bei solchem Verfahren der Druck der Hand constant gehalten werden könne, doch dieser constante Druck immerhin als Complication bei den Versuchen in Betracht komme. Dies ist allerdings richtig. Als Complication sind aber bei Versuchen solcher Art alle möglichen Umstände in Betracht zu ziehen, welche unsere Auffassung und Aufmerksamkeit beeinflussen können. So kommt z. B. bei der von Fechner beifälliger beurtheilten Versuchsweise, wo das Gewicht auf die letzten Fingerglieder der auf dem Tische aufliegenden Hand gelegt wird, die auf Vermeidung jeder Handbewegung bedachte Aufmerksamkeit und die durch die Berührung der Unterlage der Hand bewirkte, andauernde Tastempfindung als Versuchscomplication in Betracht. Dass übrigens bei Versuchen mit gehobenen Gewichten die Unterschiedsempfindlichkeit des Drucksinnes im Allgemeinen (von sehr geringen Gewichten abgesehen) nur sehr wenig mit in Betracht kommt, geht auch aus den Versuchen Leyden's (Virchow's Arch., Bd. 47, S. 326 f.) u. A. hervor, bei denen sich die Empfindlichkeit für Unterschiede gehobener Gewichte in pathologischen Fällen aufgehobener Hautsensibilität nicht merklich verändert zeigte.

eine einzige Reizstärke feststellen, ergeben sie leider gar nichts betreffs der Gültigkeit des Weber'schen Gesetzes. In dem Artikel über Tastsinn und Gemeingefühl (S. 559 f.) findet sich folgende Aeusserung Weber's: „Ich habe gezeigt, dass der Erfolg bei den Gewichtsbestimmungen derselbe ist, man mag Unzen oder Lothe nehmen; denn es kommt nicht auf die Zahl der Grane an, die das Uebergewicht bilden, sondern darauf, ob das Uebergewicht den 30sten oder den 50sten (soll wohl heissen: 40sten) Theil des Gewichtes ausmacht, welches mit einem zweiten Gewichte verglichen wird.“ Hiernach scheint es, als habe Weber mit verschiedenen absoluten Gewichtsgrössen Versuche ausgeführt, bei denen sich die relative Grösse des eben merklichen Unterschiedes zweier gehobener Gewichte als constant und zwar gleich $\frac{1}{50}$ ($\frac{1}{40}$) herausgestellt habe. Dies ist jedoch, wie es uns nach sorgfältiger Erwägung aller hierher gehörigen Mittheilungen Weber's scheinen will, kaum der Fall gewesen. Weber hat vielmehr höchst wahrscheinlich aus seinen früheren, im vorigen Paragraphen besprochenen Versuchen darauf geschlossen, dass der unter anderen Versuchsumständen für eine bestimmte Gewichtsgrösse (78 Unzen) gefundene relative Werth des eben merklichen Gewichtsunterschiedes $\frac{1}{40}$ ebenso von der absoluten Gewichtsgrösse unabhängig gewesen sei, wie sich bei jenen Versuchen die relative Grösse des eben merklichen Unterschiedes als constant herausgestellt habe. Das Entsprechende gilt, wie am Schlusse des § 68 bemerkt, wahrscheinlich auch von dem in der obigen Auslassung Weber's mit genannten Bruchwerthe $\frac{1}{30}$.

Die Versuche Weber's, aus denen sich betreffs der Gültigkeit des nach ihm benannten Gesetzes etwas entnehmen lässt, beschränken sich also wahrscheinlich nur auf die oben besprochenen Versuche, die bei gleichzeitiger Belastung beider, entweder auf einer Unterlage unbewegt liegen bleibender oder mit den Gewichten erhobener, Hände stattfanden. Aus dem Wenigen, das Weber betreffs der Versuche der ersteren Art mittheilt, lässt sich kaum etwas Sicheres betreffs der Gültigkeit des Weber'schen Gesetzes im Gebiete des Drucksinnes erschliessen. Aus den Versuchen der zweiten Art hingegen, in Verbindung mit der Beobachtung Weber's, dass die Zwischenzeit zwischen den Hebungen zweier zu unterscheidender grösserer Gewichte etwas länger sein darf als der Zeitraum, welcher zwischen den Hebungen zweier in dem gleichen Verhältnisse zu einander stehender,

geringerer Gewichte verfließen darf, lässt sich mit ziemlicher Sicherheit folgern, dass die Empfindlichkeit für relative Unterschiede gehobener Gewichte bei Steigerung der absoluten Gewichtsgrösse gleichfalls etwas zunimmt, dass also das Weber'sche Gesetz im Gebiete des Muskelsinnes (des Armes) mit ähnlichen Abweichungen gilt wie innerhalb des Gebietes des Gesichtssinnes.

§ 71.

Wir wenden uns nun zu den bekannten, nach der Methode der r. und f. Fälle angestellten Gewichtsversuchen Fechner's, über deren Anstellungsweise wir bereits in § 10 Näheres bemerkt haben. Leider haben wir uns in § 12 ff. davon überzeugen müssen, dass die Verwendung, welche Fechner den von ihm unmittelbar gewonnenen Versuchsergebnissen zu Theil werden liess, um daraus über das Verhalten der Unterschiedsempfindlichkeit Auskunft zu erhalten, nicht die richtige war, und leider bieten die in den „Elementen der Psychophysik“ (I, S. 182 ff.) gegenwärtig vorliegenden Versuchsangaben Fechner's nur die unter den verschiedenen Versuchsumständen erhaltenen Werthe der Summe $\frac{r}{n} + \frac{z}{2n}$ oder die im Allgemeinen nach der un-

richtigen Formel: $\frac{r}{n} + \frac{z}{2n} = \frac{1}{2} + \frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_0^{\frac{hD}{2}} e^{-t^2} dt$, berechne-

ten Werthe von $\frac{hD}{2}$. Es ist aber ganz unmöglich, lediglich

aus dem Werthe der Summe $\frac{r}{n} + \frac{z}{2n}$ die Grösse des Unterschiedsschwellenwerthes abzuleiten. Das Einzige, was sich unter Mitherrücksichtigung der Resultate der Weber'schen Gewichtsversuche aus jenen Versuchsangaben Fechner's schliessen lässt, ist dies, dass die von Fechner schlechthin vorausgesetzte Proportionalität des Präcisionsmaasses und der absoluten Unterschiedsempfindlichkeit bei wachsender absoluter Gewichtsgrösse und sonst unverändert bleibenden Versuchsumständen in der That mit irgend welcher Annäherung statthaben muss. Auf welchem

Wege man zu dieser Schlussfolgerung gelangen kann, führe ich nicht erst näher aus. Herr Professor Fechner hat die Güte gehabt, mir die ursprünglichen Aufzeichnungen der richtigen, falschen und zweifelhaften Fälle, die er bei seiner zweihändigen und einhändigen Versuchsreihe (vergl. Fechner, a. o. a. O.) erhielt, bereitwilligst zur Verfügung zu stellen. Ich gebe im Folgenden kurz die Resultate, welche ich aus den Zahlen richtiger und falscher Fälle, die sich bei Fechner's zweihändiger Versuchsreihe herausstellten, abgeleitet habe, indem ich die zweifelhaften Fälle ganz von den übrigen Fällen trennte und die in § 4 ff. entwickelten Formeln benutzte. Leider war es mir nicht möglich, des Verfahrens der sogenannten vollständigen Compensation der constanten Miteinflüsse mich zu bedienen, da ich aus den mir vorliegenden Aufzeichnungen Fechner's die jedesmalige Zeitlage des Mehrgewichtes nicht mit Sicherheit erkennen konnte. Auch ist zu bemerken, dass die Aufzeichnungen Fechner's, welche mir vorlagen, insofern lückenhaft waren, als sich die Aufzeichnung der Resultate, welche Fechner am 25. December 1856 (bei 384 Doppelhebungen und Anwendung eines Zusatzgewichtes D , welches $= 0,08 P$ war) erhalten hat, nicht mit darunter befand. Ich bezeichne in folgender Zusammenstellung mit P das Hauptgewicht, für welches, und mit D das Zusatzgewicht, bei dessen Benutzung der Unterschiedsschwellenwerth S und das Präcisionsmaass h bestimmt worden ist; das letztere drücke ich in Bruchwerthen mit P aus, und von S führe ich nur die relativen Grössen an.

Tabelle VIII.

Resultate der zweihändigen Versuchsreihe Fechner's.

P	Relative Werthe von S			Werthe von h		
	$D = 0,04 P$	$D = 0,08 P$	Mittel	$D = 0,04 P$	$D = 0,08 P$	Mittel
300	0,02328	0,02296	$\frac{1}{43,6}$	$\frac{6,91}{P}$	$\frac{6,52}{P}$	$\frac{6,72}{P}$
500	0,02052	0,02032	$\frac{1}{49}$	$\frac{6,46}{P}$	$\frac{6,31}{P}$	$\frac{6,39}{P}$
1000	0,01844	0,01960	$\frac{1}{52,6}$	$\frac{6,78}{P}$	$\frac{6,02}{P}$	$\frac{6,40}{P}$
1500	0,01616	0,01688	$\frac{1}{60,5}$	$\frac{9,09}{P}$	$\frac{9,77}{P}$	$\frac{9,43}{P}$
2000	0,01472	0,01368	$\frac{1}{70,4}$	$\frac{10,11}{P}$	$\frac{10,22}{P}$	$\frac{10,17}{P}$
3000	0,01284	0,01456	$\frac{1}{73}$	$\frac{10,08}{P}$	$\frac{11,18}{P}$	$\frac{10,63}{P}$

Wie man sieht, stimmen die Grössen des Unterschiedsschwellenwerthes, welche bei einem und demselben P , aber ver-

schiedenem D gefunden worden sind, zum Theil sehr nahe mit einander überein. Diese Uebereinstimmung würde höchstwahrscheinlich eine noch grössere sein, wenn ich mich des Verfahrens der sogenannten vollständigen Elimination der constanten Fehler hätte bedienen können. Das Gleiche gilt von den Werthen des Präcisionsmaasses, welche ich unter Vernachlässigung der unbedeutenden Grösse ϑ nach den in § 7 angeführten Formeln berechnet habe. Hinsichtlich des Ganges, den die Unterschiedsempfindlichkeit bei wachsendem P nimmt, ergeben die Gewichtsversuche Fechner's nach dieser Tabelle ganz dasselbe wie die entsprechenden Versuche Weber's, nämlich dies, dass die relative Grösse von S bei wachsendem Hauptgewichte sich etwas verringert. Was ferner das Präcisionsmaass betrifft, so kann man aus den in vorstehender Tabelle angeführten Grössen desselben den mittleren Werth δ_m der zufälligen Beobachtungsfehler berechnen, welche bei Auffassung eines gegebenen Hauptgewichtes

begangen worden sind; man hat δ_m einfach gleich $\frac{1}{h\sqrt{\pi}}$ zu setzen. So war z. B. der mittlere Werth der zufälligen Beobachtungsfehler, welche von Fechner bei Auffassung eines Gewichtes von 300 grm. begangen wurden, $= \frac{P}{6,72\sqrt{\pi}} = 25,48$ grm.

Besonders hervorzuheben ist die grosse Annäherung, mit welcher nach vorstehender Tabelle das Präcisionsmaass der absoluten Unterschiedsempfindlichkeit proportional geht. Das Maass dieser Annäherung kann man sich am einfachsten dadurch vergegenwärtigen, dass man für jedes Haupt- und Zusatzgewicht das Product hS bildet. Bestimmt man z. B. die Grösse dieses Productes für die verschiedenen 6 Hauptgewichte, indem man diejenigen Werthe von S und h zu Grunde legt, welche bei Anwendung des kleineren Zusatzgewichtes gefunden worden sind, so erhält man folgende 6 Werthe von hS : 0,114; 0,094; 0,115; 0,104; 0,105; 0,092. Hiernach scheint man in der That das Product hS als merklich constant und mithin h als merklich reciprok zu S betrachten zu müssen.

Indessen wenn das Präcisionsmaass bei wachsender Gewichtsgrösse und sonst unverändert bleibenden Versuchsumständen dem Unterschiedsschwellenwerthe reciprok geht, so folgt daraus noch nicht, dass das Gleiche auch dann statthaben werde, wenn man

die Gewichtsgrösse constant lässt und einen der übrigen Versuchsumstände variirt; und fassen wir nun die Resultate der einhändigen Versuchsreihe Fechner's in's Auge, so zeigt sich in der That, dass nach derselben die Unterschiedsempfindlichkeit für beide Hände Fechner's merklich gleich ist, hingegen das Präcisionsmaass für die rechte Hand ganz unverkennbar einen grösseren Werth besitzt als für die linke. Die Voraussetzung einer allgemeinen Proportionalität des Präcisionsmaasses und der absoluten Unterschiedsempfindlichkeit dürfte daher nicht statthaft sein. Was die Resultate der einhändigen Versuchsreihe Fechner's im Uebrigen betrifft, so zeigen dieselben bei weitem nicht die gleiche Regelmässigkeit und Uebereinstimmung unter einander wie die Ergebnisse der zweihändigen Versuchsreihe, obwohl wir hier in der Lage waren, das Verfahren der sogenannten vollständigen Elimination der constanten Miteinflüsse zur Anwendung bringen zu können. Es dürfte dies in der Hauptsache seinen Grund darin haben, dass die Anzahl der Einzelversuche, welche bei der einhändigen Versuchsreihe auf jede einzelne Combination der Versuchsumstände kamen, nur halb so gross war als die entsprechende Zahl der zweihändigen Versuchsreihe. Betreffs des Ganges, welchen die Unterschiedsempfindlichkeit und das Präcisionsmaass bei wachsendem Hauptgewichte nehmen, treten die Resultate der einhändigen Versuchsreihe zu denen der zweihändigen Versuchsreihe bestätigend hinzu. Der Unterschiedsschwellenwerth hat sich bei dem einhändigen Verfahren etwas kleiner und das Präcisionsmaass etwas grösser herausgestellt als bei dem zweihändigen Verfahren. Folgende

Tabelle IX.

Resultate der einhändigen Versuchsreihe Fechner's.

P	Relative Werthe von S			Werthe von h		
	Linke	Rechte	Mittel	Linke	Rechte	Mittel
300	0,0197	0,0187	1/52,1	9,50/p	9,83/p	9,76/p
500	0,0176	0,0163	1/58,8	9,44/p	9,73/p	9,59/p
1000	0,0126	0,0141	1/74,6	9,84/p	12,23/p	11,04/p
1500	0,0141	0,0125	1/75,2	11,44/p	13,74/p	12,59/p
2000	0,0131	0,0153	1/70,4	12,50/p	12,81/p	12,65/p
3000	0,0119	0,0141	1/76,9	14,01/p	13,72/p	13,87/p

welche ganz analog wie Tabelle VIII angeordnet ist, enthält

die wesentlichen Resultate der einhändigen Versuchsreihe. Da die Werthe der constanten Zeit- und Raumfehler uns hier nicht besonderes Interesse zu besitzen schienen, so haben wir von einer Mittheilung derselben Abstand genommen.

§ 72.

Auf Veranlassung Hering's stellten neuerdings auch Biedermann und Löwit (vergl. Hering, a. a. O. S. 33 ff.) nach der Methode der eben merklichen Unterschiede 3 Reihen von Gewichtsversuchen an. Die eine dieser Versuchsreihen liess den Muskelsinn bei Vergleichung der gegebenen Gewichte ganz ausser Spiel, indem die Gewichte aus stets gleicher, jedoch nur minimaler Höhe auf eine zweckmässig unterstützte Fingerspitze herabfielen. Die hierbei erhaltenen Resultate stimmten mit dem Weber'schen Gesetze nicht überein; leider erfahren wir über die Grösse dieser Abweichungen vom Weber'schen Gesetze nichts Näheres. Nicht zu übersehen ist, dass sich bei dieser Versuchsreihe von Biedermann und Löwit ausser der verschiedenen Schwere der herabfallenden Gewichte auch noch die verschiedene Ausdehnung der von denselben getroffenen Hauttheile geltend machen musste. Wie in § 68 bemerkt, schloss Weber den Einfluss dieser Fehlerquelle bei seinen Versuchen aus.

Die zweite Versuchsreihe jener beiden Beobachter „wurde derart angestellt, dass ein kleiner Holzgriff, an welchem eine kleine Pappscheibe aufgehängt war, zwischen Daumen und Zeigefinger gefasst und so die auf der Pappscheibe liegenden Gewichte gehoben wurden, wobei der Arm nicht unterstützt war, sondern frei gehalten wurde.“ Einige Ergebnisse dieser Versuchsreihe sind in folgender Tabelle enthalten.

Tabelle X.

Absolutes Gewicht in Grammen	10	50	100	200	300	400	450	500
Relative Grösse des eben merklichen Unterschiedes	$\frac{1}{14}$	$\frac{1}{29}$	$\frac{1}{42}$	$\frac{1}{56}$	$\frac{1}{65}$	$\frac{1}{77}$	$\frac{1}{69}$	$\frac{1}{80}$

Sehr auffällig und sicher in irgend einem Mangel des experimentellen Verfahrens begründet ist hier der starke Abfall der

relativen Unterschiedsempfindlichkeit, der bei dem Gewichte von 500 grm. erhalten wurde.

Die dritte Versuchsreihe wurde absichtlich ähnlich wie die im Anfange des § 70 besprochenen Versuche Weber's angestellt. „Ein Handtuch wurde an den beiden zusammengelegten Enden gefasst, während in der so gebildeten Schlinge ein an drei Schnüren befestigter Holzteller hing, welcher die Gewichte trug. Handtuch, Schnüre und Teller wogen zusammen 250 grm.“ Es schien sich zu ergeben, dass auch bei dieser Versuchsweise die relative Grösse des eben merklichen Unterschiedes bei wachsender absoluter Gewichtsgrösse allmählich abnimmt, um bei einem Gewichte von c. 2500 grm. ihr Minimum zu erreichen und dann bei fortgesetzter Steigerung des Gewichtes allmählich wieder zuzunehmen. So entsprachen z. B. den absoluten Gewichtsgrössen von 250, 500, 1000, 2000, 2500, 2750 grm. nach diesen Versuchen folgende relative Grössen des eben merklichen Unterschiedes: $\frac{1}{21}$, $\frac{1}{38}$, $\frac{1}{67}$, $\frac{1}{100}$, $\frac{1}{114}$, $\frac{1}{98}$.

Da nach den Ausführungen des § 68 die eigenen Versuche Weber's durchaus nichts Sicheres betreffs der Frage ergeben, ob das Weber'sche Gesetz für den blossen Drucksinn gültig sei, und die oben an erster Stelle erwähnte Versuchsreihe von Biedermann und Löwit sogar eine verneinende Antwort auf diese Frage ertheilt, so hat man gegenwärtig durchaus keinen Grund, auch nur eine annähernde Gültigkeit des Weber'schen Gesetzes für das Gebiet des Drucksinnes zu behaupten.

Leider wissen wir betreffs der Anstellungsweise der Versuchsreihen von Biedermann und Löwit zur Zeit nichts Näheres, namentlich nicht, inwieweit der Einfluss constanter Miteinflüsse und der Einfluss der Uebung bei denselben berücksichtigt und eliminirt worden ist. Hering bemerkt, der Einfluss der Uebung sei während der langdauernden Versuchsreihe, bei welcher die Gewichte mittels eines Handtuches erhoben wurden, nicht sehr bedeutend gewesen. Denn als man zum Schluss den kleinsten erkennbaren Gewichtszuwachs noch einmal für das zuerst untersuchte Gewicht von 250 grm. bestimmt habe, so habe sich derselbe gleich 11 grm., also nur um 1 grm. kleiner als bei Beginn der Versuchsreihe, herausgestellt. Allein aus einer einzigen derartigen Bestimmung lässt sich gar nichts Sicheres schliessen; es kann ja sehr leicht in Folge der Mitwirkung zufälliger Fehlerursachen der eben merkliche Gewichtszuwachs bei diesem einen

Controlversuche nicht unbeträchtlich zu gross erhalten worden sein. Ferner ist zu bedenken, dass nach den Ausführungen von § 18 ff. die Methode der eben merklichen Unterschiede überhaupt nur dann ganz genaue Resultate geben kann, wenn sie in der von uns angedeuteten Weise mit der Methode der eben unmerklichen Unterschiede zu einer Methode der kleinsten Unterschiede combinirt wird. Man hat daher, wenigstens so lange als man nichts Näheres betreffs jener Versuchsreihen von Biedermann und Löwit weiss, den angeführten Ergebnissen derselben nur wenig Gewicht beizulegen; und wenn die dritte der Versuchsreihen jener beiden Beobachter in ihren Resultaten mit den Gewichtsversuchen Fechner's insofern nicht übereinstimmt, als nach ihr die relative Unterschiedsempfindlichkeit bei wachsender absoluter Gewichtsgrösse weit schneller zunimmt als nach Fechner's Versuchen, so haben wir ohne Zweifel die Ergebnisse der Fechner'schen Versuche, mit denen die Resultate der entsprechenden Versuche Weber's in bestem Einklange stehen, für die weit maassgebenderen zu halten.

§ 73.

Auf einen Punkt noch müssen wir hier kurz eingehen. Aehnlich wie Fechner geglaubt hat, die im Gebiete des Gesichtsinnes constatirten unteren Abweichungen vom Weber'schen Gesetze durch Bezugnahme auf die beständige subjective Erregung des Sehorganes als nur scheinbare Abweichungen darthun zu können, so hat er zur Erklärung der analogen Abweichungen von diesem Gesetze, die sich bei Versuchen mit gehobenen Gewichten ergeben, geltend gemacht, dass das eigene Gewicht des hebenden Armes bei Berechnung der gehobenen Gewichtsgrösse immer mit in Anschlag zu bringen sei. Hering bemerkt, dass die dritte der oben angeführten Versuchsreihen von Biedermann und Löwit mit dieser Ansicht Fechner's allerdings insofern in ziemlich gutem Einklange stehe, als der eben merkliche Gewichtszuwachs bei wachsendem Hauptgewichte annähernd dieselbe relative Grösse behalte, wenn man die eigene Schwere des hebenden Armes mit einem Gewichte von etwa 1750 grm.*) mit in Rech-

*) Die Anwendung der Methode der kleinsten Quadrate würde das eigene Gewicht des Armes nicht = 1750 grm., sondern = 2744,67 grm.

nung bringe. Indessen bei der zweiten Versuchsreihe jener beiden Beobachter, bei welcher die Gewichte mittels eines kleinen, zwischen Daumen und Zeigefinger gefassten, eine kleine Pappscheibe tragenden Holzgriffes gehoben wurden, könne von einer Einrechnung des Gewichtes des hebenden Armes schon deshalb nicht die Rede sein, weil dasselbe nur mit 100 grm. angenommen werden dürfte, wenn man die Versuchsreihe auch nur einigermaassen mit der Fechner'schen Auffassung in Einklang bringen wollte. Ueberdies bemerke jeder, der die bei dieser Beobachtungsreihe zur Anwendung gekommene Versuchsweise erprobe, dass man bei Vergleichung der verschiedenen Gewichte seine Aufmerksamkeit lediglich auf die an den Fingerspitzen entstehenden Empfindungen richte; mithin könne der sogenannte Muskelsinn hier nicht wesentlich in Betracht kommen. Diese Auslassung Hering's scheint uns doch nicht ganz triftig. Zunächst ist klar, dass der blossе Drucksinn der Haut nur dann bei Vergleichung der gehobenen Gewichte der maassgebende Sinn sein konnte, wenn der Druck, welchen der Daumen und Zeigefinger auf den Holzgriff ausübten, immer nur gerade so gross genommen wurde, dass bei der geringsten Verminderung desselben oder bei der geringsten Erhöhung des erhobenen Gewichtes der Holzgriff den Fingern entglitten wäre. Ein derartiges Versuchsverfahren ist aber in Wirklichkeit gar nicht durchführbar. Ferner ist bei jener zweiten Versuchsreihe von Biedermann und Löwit höchstens das Gewicht der ganzen Hand mit in Anschlag zu bringen und auch hierbei noch zu bedenken, dass das im Schwerpunkte der Hand wirkende Gewicht der Hand an einem kürzeren Hebelarme wirkt als das vom Daumen und Zeigefinger getragene Gewicht. Geringfügige gehobene Gewichte, welche dem Gesamtgewichte des erhobenen Armes gegenüber und selbst dem Gewichte des Vorderarmes allein gegenüber nur sehr klein sind und demgemäss in den Muskelempfindungen der Schulter- und Oberarmmuskeln keine merklichen Unterschiede bewirken, schätzen wir, wie uns scheint, nur mittels des Muskelsinnes gewisser Muskeln der Hand und des Vorderarmes, für welchen, wie bei der zweiten Versuchsreihe von Biedermann und Löwit der Fall war, das Maximum der

und die relative Grösse des eben merklichen Unterschiedes = $\frac{1}{237}$ ergeben.

relativen Unterschiedsempfindlichkeit nothwendiger Weise bereits bei verhältnissmässig geringen Gewichtsgrössen eintritt. Erst bei grösseren Gewichten kommt der Muskelsinn gewisser Muskeln des Oberarmes und das eigene Gewicht des Vorderarmes und endlich bei sehr grossen Gewichten auch der Muskelsinn gewisser Schultermuskeln und das Gesamtgewicht des Armes in Betracht. Will man daher die Frage entscheiden, inwieweit die Einschränkung der Gültigkeit, bez. die Ungültigkeit, des Weber'schen Gesetzes, welche sich bei den bisherigen Gewichtsversuchen von Fechner und Weber, bez. Biedermann und Löwit, herausgestellt hat, eine nur scheinbare, in dem eigenen Gewichte der hebenden Glieder begründete sei, so müsste man vor Allem näher wissen, welche Armmuskeln vermöge der aus ihrer Thätigkeit entspringenden sogenannten Muskelgefühle bei Vergleichung zweier gehobener Gewichte für unser Urtheil hauptsächlich maassgebend sind, nach welchem Gesetze der Einfluss, den die Thätigkeit bestimmter Armmuskeln auf unsere Schätzung eines gehobenen Gewichtes ausübt, mit zu- oder abnehmender Schwere hinter den Einfluss anderer Muskeln zurücktritt u. dergl. m. Auch ist nicht bloss die eigene Schwere der hebenden Armtheile, sondern auch der Widerstand, welchen die Verkürzung der bei der Hebung thätigen Muskeln seitens der Antagonisten erfährt, hier wohl zu berücksichtigen. Der einfache Thatbestand ist gegenwärtig der, dass nach Weber's und Fechner's Versuchen die relative Unterschiedsempfindlichkeit für Gewichte von 125 bis 3000 grm., die in bestimmter Weise erhoben werden, nur langsam ihren Werth mit der absoluten Gewichtsgrösse verändert. Ferner ist nicht daran zu zweifeln, dass man bei Versuchen mit gehobenen Gewichten die eigene Schwere gewisser Theile des Armes in irgend welcher Weise mit in Anschlag zu bringen hat. Nur ist hierbei die Möglichkeit dessen nicht ganz ausser Acht zu lassen, dass die Schwere jener Armtheile nebst dem Widerstande, welchen die Verkürzung der bei der Hebung thätigen Muskeln von Seiten der Antagonisten erfährt, wenigstens theilweise durch anderweite Einrichtungen compensirt sei.

10. Capitel.

Das Augenmaass.

§ 74.

E. H. Weber*) theilt kurz mit, dass Personen, die ein ausgezeichnetes Augenmaass besässen, z. B. solche, welche der Zeichenkunst beflissen seien, zwischen 2 Linien, deren Längen sich ungefähr wie 50 : 51 oder sogar wie 100 : 101 verhielten, noch einen Unterschied entdecken könnten, hingegen solche, die sich eines feinen Augenmaasses nicht rühmen dürften, gerade noch Linien zu unterscheiden vermöchten, welche etwa um $\frac{1}{25}$ ihrer Länge von einander verschieden seien. Hierbei sei es gleichgültig, welche Länge die zur Vergleichung kommenden Linien besässen; wer z. B. eine Linie von 101 mm. Länge von einer 100 mm. langen anderen Linie noch zu unterscheiden vermöge, werde auch zwischen einer $50\frac{1}{2}$ mm. langen und einer 50 mm. langen Linie noch einen Unterschied entdecken können. Selbstverständlich wurden bei den Versuchen Weber's die beiden Linien nicht in paralleler Richtung dicht neben einander gegeben, so dass man bloss darauf hätte zu achten brauchen, welche der beiden Linien die andere an dem einen Ende oder an beiden Enden an Länge übertreffe; vielmehr wurden die beiden Linien successiv, wenn auch mit möglichst geringer Zwischenzeit, in das Auge gefasst. Bei Verlängerung dieser Zwischenzeit vergrösserte sich der Werth des eben merklichen Unterschiedes. Weber's Beobachtungen scheinen sich auch auf sehr kleine Linien erstreckt zu haben. Er bemerkt, dass zwei Beobachter noch zwei Striche, deren einer 1 Linie und deren anderer 1,05 Linie lang gewesen sei, von einander hätten unterscheiden können, und ihr Augenmaass in der Unterscheidung kleiner Strecken sogar noch weiter gereicht habe. Weber selbst unterschied noch 2 Striche, deren relativer Längenunterschied $\frac{1}{20}$ betrug und von denen der eine $\frac{1}{17}$ bis $\frac{1}{18}$ Linie länger war als der andere.

§ 75.

Fechner (Ps. I, S. 211 ff.) hat, wie bereits früher erwähnt,

*) Annot. Anat. S. 142 und 173, Tasts. und Gemeingef. S. 559.

eine Reihe von Augenmaassversuchen nach der Methode der mittleren Fehler angestellt. Die Resultate dieser Versuchsreihe sind jedoch nach den Ausführungen von § 26 ff. zu einer Prüfung des Weber'schen Gesetzes, wenigstens zur Zeit, ganz unbrauchbar; wir gehen daher auf diese Versuche gar nicht weiter ein. Ausserdem berichtet Fechner (Ps. I, S. 233) von einigen vorläufigen, nach der Methode der eben merklichen Unterschiede angestellten Versuchen das Folgende. Er habe einem Zirkel eine Spannweite von 1 Zoll, einem anderen eine solche von $\frac{1}{40}$ Zoll gegeben und die Zirkel so verwechselt, dass er nicht wusste, welcher von beiden der weiter gestellte war. Darauf habe er mittels des blossen Augenmaasses zu entdecken gesucht, welcher der beiden neben einander in deutlichster Sehweite vor das Auge gehaltenen Zirkel die weitere Oeffnung besitze, und sich jedes Mal, wenn auch erst nach längerer Prüfung, für den thatsächlich weiteren Zirkel entschieden. Ganz dieselbe schwierige, aber definitiv richtige Entscheidung habe er aber auch gefällt, nachdem die Spannweite sammt der Differenz das eine Mal verdoppelt, das andere Mal vervierfacht worden sei, so dass im letzteren Falle die Spannweite des einen Zirkels 4, die des anderen 4,1 Zoll betragen habe. Diese kleine Reihe von 3 Versuchen wiederholte Fechner dreimal mit gleichem Erfolge; er fand ausserdem, dass es im Gefühle der Differenz der Spannweiten keinen Unterschied mache, ob die Zirkel in grösserer oder geringerer Entfernung von den Augen gehalten würden, wenn nur die Grenzen der Accommodation des Auges nicht überschritten würden. Fechner fügt hinzu, dass er wahrscheinlich einen noch geringeren Bruchtheil als ein $\frac{1}{40}$ jedes Mal hätte richtig erkennen können; indessen habe er, um nicht in die langwierige und bei wenigen Versuchen unsichere Methode der r. und f. Fälle hineinzugerathen, absichtlich den Punkt der Ebenmerklichkeit etwas höher angenommen.

Die geringe Zuverlässigkeit dieser Versuche Fechner's geht aus den Ausführungen von § 18 und 19 hinlänglich hervor. Ganz unzulänglich waren, wie bereits in § 9 bemerkt, die nach der Methode der r. und f. Fälle angestellten Augenmaassversuche von Hegelmayer, deren Resultate anderenfalls deswegen von besonderem Interesse sein würden, weil bei denselben die zu vergleichenden Linien nicht mit bewegter Blicklinie aufgefasst, sondern fixirt wurden, indem jede der auf weissem Papiere auf-

getragenen Linien unter ihrer Mitte mit einem Punkte versehen war, auf welchen die Augenaxen eingestellt wurden.

§ 76.

Um die Resultate seiner angeblich nach der Methode der mittleren Fehler angestellten Augenmaassversuche noch besser zu begründen, stellte Volkmann (a. a. O. S. 129 ff.) in Gemeinschaft mit Krause auch Versuche nach der Methode der eben merklichen Unterschiede an. Mittels 3 feiner, paralleler Silberfäden, die bei einer Sehweite von 200 mm. gegen einen hellen Hintergrund betrachtet wurden, und deren Abstände von einander mit Hilfe eines mikrometrischen Schraubenapparates sehr genau gemessen werden konnten, wurde neben einer Hauptdistanz H bei abwechselnd linker und rechter Raumlage eine andere Distanz hergestellt, die abwechselnd um ein Minimum grösser oder kleiner erschien.*) Die in dieser Weise unter regelmässig wechselnden Bedingungen erhaltenen Grössen des eben merklichen relativen Unterschiedes u wurden ohne Berücksichtigung des Vorzeichens addirt, die Summe durch die Zahl der Beobachtungen dividirt und so der mittlere Werth von u bestimmt. Volkmann benutzte 5 Hauptdistanzen. Mit jeder derselben stellte er im Ganzen 80 Versuche an, 40 bei linker und eben so viele bei rechter Raumlage, und von diesen 40 Versuchen diente allemal die eine Hälfte zur Herstellung von positiven, die andere zur Herstellung von negativen Unterschieden. Im Mittel erhielt er folgende zu einander zugehörige Werthe von H und u .

H (in Millimetern):	0,3	0,6	1,2	2,4	4,8
u :	$\frac{1}{11}$	$\frac{1}{15}$	$\frac{1}{16}$	$\frac{1}{21}$	$\frac{1}{29}$

*) Den Nutzen dieses Wechsels im Vorzeichen des eben merklichen Unterschiedes vermögen wir nicht zu erkennen. Man pflegt im Allgemeinen die zu einer Reizgrösse r zugehörige Unterschiedsempfindlichkeit in der Weise zu messen, dass man dieselbe dem eben merklichen Zuwachse S zu der gegebenen Reizstärke, nicht aber dem eben merklichen Decremente d derselben reciprok setzt, welches als der eben merkliche Zuwachs zu der geringeren Reizstärke $r - d$ im Allgemeinen etwas kleiner ist als S . Man führt daher streng genommen ein neues Maass der Unterschiedsempfindlichkeit ein, wenn man dieselbe mit Volkmann dem Mittelwerthe von S und d reciprok setzt.

Eine zweite Versuchsreihe, bei welcher die Zahl der für jede Hauptdistanz H angestellten Versuche gleichfalls 80 betrug, wurde von Krause angestellt und ergab folgende Resultate:

H (in Millimetern):	0,5	0,9	1,3
u :	$\frac{1}{35}$	$\frac{1}{64}$	$\frac{1}{90}$.

In ganz derselben Weise wie Volkmann und Krause hat neuerdings auch Chodin (Arch. f. Ophth. XXIII, 1, S. 98 ff.) 2 Versuchsreihen nach der Methode der eben merklichen Unterschiede angestellt. Nur bediente sich derselbe zur Herstellung der Distanzen nicht paralleler Fäden, sondern er zog auf Papier mit Bleistift eine feine Linie, gab auf derselben mit feinen Querstrichen eine bestimmte Distanz an und merkte dann seitwärts davon (eben so oft rechts als links) mit einem queren Strich eine zweite Distanz an, die ihm eben merklich grösser oder kleiner als die gegebene Distanz erschien. Die Sehweite betrug 350 mm.; die Hauptdistanzen waren bei beiden Versuchsreihen ganz dieselben. Jede Versuchsreihe befasste 840 Versuche, die zur Hälfte zur Herstellung von positiven und zur Hälfte zur Herstellung von negativen Distanzunterschieden dienten. Im Mittel ergaben sich folgende Resultate:

H (in Millimetern):	2,5	5	10	20	40	80	160
u :	$\frac{1}{21}$	$\frac{1}{30}$	$\frac{1}{41}$	$\frac{1}{55}$	$\frac{1}{40}$	$\frac{1}{35}$	$\frac{1}{35}$.

Aus diesen Versuchsreihen von Volkmann, Krause und Chodin folgt, dass sich die relative Unterschiedsempfindlichkeit im Gebiete des Augenmaasses ganz analog verhält wie in demjenigen des Gesichtssinnes. Sie nimmt bei allmählich anwachsender Hauptdistanz zunächst gleichfalls sehr merklich zu, erreicht ein Maximum, wenn eine Distanz von etwa 20 mm. in einer Entfernung von 350 mm. betrachtet wird, und nimmt dann bei fortgesetzter Vergrößerung der Hauptdistanz allmählich wieder ab. Eine approximative Gültigkeit des Weber'schen Gesetzes, auf welche die angeführten Versuche von Weber und Fechner und besonders die in § 80 zu erwähnenden Versuche Wundt's hinweisen, findet auch hier statt, insofern die Zu- oder Abnahme, welche die relative Unterschiedsempfindlichkeit bei wachsender Hauptdistanz erfährt, innerhalb weiter Grenzen eine ziemlich geringe ist. Bemerkenswerth ist, dass nach den Versuchen von Chodin, deren Resultate allerdings zum Theil individuell bedingte sein können, das Gebiet der annähernden Gültigkeit des Weber'schen Gesetzes zum weit grösseren Theile in diejenigen Grenzen hineinfällt,

innerhalb deren die relative Unterschiedsempfindlichkeit bei wachsender Hauptdistanz bereits wieder abnimmt.

§ 77.

Ueber die Augenmaassversuche, welche Volkmann (a. a. O. S. 117 ff.) mit Hülfe mehrerer Mitbeobachter angeblich nach der Methode der mittleren Fehler angestellt hat, haben wir uns bereits in § 28 und § 29 näher ausgelassen. Diese zahlreichen Versuchsreihen besitzen zur Zeit leider nur insofern einigen Werth für uns, als sich aus einer Vergleichung ihrer Ergebnisse und der nach Obigem von Volkmann und Krause erhaltenen Werthe des eben merklichen Distanzunterschiedes ergibt, dass die mittlere Abweichung vom Mittelwerthe des eben unmerklichen Unterschiedes bei wachsender Hauptdistanz wenigstens innerhalb gewisser Grenzen einen analogen Gang nimmt wie der Unterschiedsschwellenwerth und nach dem Früheren hieraus folgt, dass das Maass der Präcision, mit welcher eine gegebene Distanz aufgefasst wird, bei wachsender Distanzgrösse wenigstens innerhalb gewisser Grenzen in ähnlicher Weise abnimmt wie die absolute Unterschiedsempfindlichkeit. So gehen z. B. die in obiger Versuchsreihe von Krause erhaltenen Grössen des eben merklichen Unterschiedes den Werthen $\frac{1}{73}$, $\frac{1}{123}$, $\frac{1}{193}$, welche Krause bei ganz denselben Hauptdistanzen für die mittlere Abweichung vom Mittelwerthe des eben unmerklichen Unterschiedes erhielt, ziemlich genau proportional; und ebenso zeigen auch die von Volkmann selbst erhaltenen eben merklichen Distanzunterschiede und die entsprechenden Werthe jener mittleren Abweichung bei wachsender Hauptdistanz ein ähnliches, wenn auch keineswegs proportionales, Verhalten.

Ebenso wie Volkmann hat auch Chodin*) (Arch. f. Ophth. XXIII, 1, S. 93 ff.) geglaubt, bei seinen Augenmaassversuchen sich hauptsächlich der Methode der mittleren Fehler bedienen zu müssen, und nach dem Vorgange Volkmann's identificirt auch er den mittleren Werth der reinen variablen Fehler mit dem grössten verkennbaren Unterschiede, der sich selbstverständlich

*) Die Versuche Chodin's sind veröffentlicht worden, als das 7. Capitel des ersten Abschnittes dieser Schrift bereits vollständig gedruckt war; sie sind deshalb in jenem Capitel nicht mit berücksichtigt.

ganz so verhalten müsse wie der kleinste erkennbare Unterschied. Wenn man aber eine Fehldistanz, welche deutlich grösser, bez. kleiner, ist als eine gegebene Normaldistanz, allmählich so lange verringert, bez. vergrössert, bis ihr Unterschied von der Normaldistanz eben verkannt wird, und den mittleren Werth einer grösseren Anzahl so erhaltener Fehldistanzen bestimmt, so wird offenbar, falls die constanten Fehler in geeigneter Weise eliminiert werden, die Differenz der mittleren Fehldistanz und der Normaldistanz dem eben verkennbaren Unterschiede gleich zu setzen sein und der mittlere Werth derjenigen Grössen, um welche die einzelnen Fehldistanzen von der mittleren Fehldistanz abweichen, wird sich als die mittlere Abweichung vom Mittelwerthe des eben unmerklichen Unterschiedes bezeichnen lassen. Wie in aller Welt man also darauf kommt, diesen letzteren Mittelwerth, das Mittel der reinen variablen Fehler, für identisch mit dem grössten verkennbaren Unterschiede zu betrachten, bleibt uns unerfindlich. Hierzu ist noch zu bemerken, dass Chodin nicht einmal in ganz derselben Weise verfahren ist wie Volkmann, welcher einen deutlich übermerklichen Unterschied allmählich so weit abänderte, bis er eben unmerkbar wurde, und, sobald diese Unmerkbarkeit des Unterschiedes erreicht war, sofort die allmähliche Abänderung desselben beendete, um die Grösse desselben genau zu messen. Da Chodin in der Weise verfuhr, dass er auf einer geraden Linie, die er mit Bleistift auf weissem Papiere gezogen hatte, durch 2 quere Striche die Normaldistanz anmerkte und dann neben, bez. über, dieser durch einen Querstrich die Fehldistanz markirte, so konnte selbstverständlich bei seinen Versuchen von einer allmählichen Abänderung der Fehldistanz, wie solche bei Volkmann's mit verschiebbaren Silberfäden angestellten Versuchsreihen leicht möglich war, gar nicht die Rede sein; und Chodin bemerkt selbst, dass bei seinen Versuchen mit gleichzeitig gegebenen Distanzen jede einzelne Grösse der Fehldistanz zu öfter wiederholten Malen mit der Normaldistanz verglichen worden sei. Bei solchem Verfahren musste aber — von etwaigen constanten Fehlern abgesehen — die Differenz der Normaldistanz und der mittleren Fehldistanz nothwendig kleiner ausfallen als der Unterschiedsschwellenwerth. Es sind also die Versuche Chodin's weder wie Volkmann's Versuche nach der Methode der mittleren Abweichung vom Mittelwerthe des eben verkennbaren Unterschiedes noch nach einer Methode

ausgeführt worden, bei welcher, wie etwa bei der in § 25 angedeuteten Methode, das Bestreben vorhanden war, die Fehldistanz der Normaldistanz in jedem Einzelfalle möglichst gleich zu machen; und eben so wenig, wie man die mittlere Abweichung und den mittleren Fehler, die man bei Anwendung dieser Methoden erhält, so ohne Weiteres dem Unterschiedsschwellenwerthe proportional setzen darf, ist man berechtigt, von vorn herein anzunehmen, dass der bei Chodin's Versuchen erhaltene Mittelwerth der reinen variablen Fehler eine Grösse sei, die dem wirklichen Werthe des eben merklichen Unterschiedes genau proportional gehe. Fassen wir die Resultate in's Auge, die Chodin bei den hier in Rede stehenden Versuchen thatsächlich erhalten hat, so verhalten sich allerdings die mittleren Fehler, die er bei 2 Versuchsreihen mit 7 horizontalen Hauptdistanzen erhalten hat, bei zunehmender Distanzgrösse ganz ähnlich, wie sich nach den im vorigen § besprochenen Versuchen Chodin's die eben merklichen Zuwüchse ganz derselben horizontalen Hauptdistanzen verhalten; und hiernach ist es allerdings nicht unwahrscheinlich, dass sich der mittlere Fehler, den Chodin bei Benutzung verticaler oder successiv gegebener horizontaler Distanzen erhielt, bei zunehmender Hauptdistanz gleichfalls ganz ähnlich verhalte wie der entsprechende eben merkliche Unterschied. Aber hinreichend sicher ist dies doch durchaus nicht, und noch weniger ist sicher, dass sich der eben merkliche Unterschied gleichzeitig gegebener horizontaler Distanzen zu dem gleich merklichen Unterschiede verticaler oder successiv dem Auge dargebotener horizontaler Distanzen genau so verhalte, wie sich der mittlere Fehler, den Chodin bei Benutzung gleichzeitig gegebener horizontaler Distanzen erhielt, zu dem mittleren Fehler verhält, der sich bei Anwendung verticaler, bez. successiv gegebener horizontaler, Distanzen herausstellte. Will man — und es bedarf noch sehr einer solchen Untersuchung — in genauer und eingehender Weise untersuchen, inwieweit das Weber'sche Gesetz für das Augenmaass Gültigkeit besitzt, so wird man sich der Methode der r. und f. Fälle oder derjenigen der kleinsten Unterschiede in der von uns angedeuteten Weise zu bedienen haben. Die Methode der mittleren Fehler giebt in jeglicher Modification immer nur Resultate, die man erst dann mit Sicherheit in nähere Beziehung zu unserer Unterschiedsempfindlichkeit bringen kann, wenn man auf Grund anderweiter Versuche, die man unter ganz denselben Versuchs-

umständen angestellt hat, sicher weiss, in welchem Verhältnisse der mittlere Fehler zum Unterschiedsschwellenwerthe steht; sie giebt also immer nur solche Resultate, die zu einer zuverlässigen Prüfung des Weber'schen Gesetzes entweder untauglich oder überflüssig sind. Liesse sich übrigens, um dies noch beizufügen, mit Sicherheit annehmen, dass der mittlere Fehler der Versuche Chodin's dem Unterschiedsschwellenwerthe allgemein proportional gehe, so würde sich ergeben, dass die relative Unterschiedsempfindlichkeit für horizontale Distanzen eine grössere ist als für verticale Distanzen und sich verringert, wenn man die zu vergleichenden Distanzen dem Auge nicht mehr gleichzeitig, sondern successiv darbietet; und die Approximation, mit welcher das Weber'sche Gesetz im Gebiete des Augenmaasses gilt, würde nach den Versuchen, die Chodin mit verticalen und successiv gegebenen horizontalen Distanzen angestellt hat, für grösser zu halten sein, als sie nach den im vorigen Paragraphen besprochenen Versuchsreihen Chodin's erscheint.

§ 78.

Bekanntlich hat Fechner (Ps. I, S. 222 ff.), in der Absicht, die strenge Gültigkeit des Weber'schen Gesetzes für das Augenmaass zu retten, sich bemüht, nachzuweisen, dass die mit dem Weber'schen Gesetze nicht übereinstimmenden Werthe der mittleren Fehler, die sich bei den mikrometrischen Versuchsreihen von Volkmann und dessen Mitbeobachtern herausgestellt hätten, sich in 2 Componenten zerlegen liessen, von denen die eine, die sogenannte Volkmann'sche Constante, eine constante Grösse, die andere hingegen, die sogenannte Weber'sche Variable, dem Weber'schen Gesetze gemäss der Normaldistanz N proportional sei. Und zwar sei die Bedeutung jener Volkmann'schen Constanten möglicher Weise die folgende. Wenn die Ansicht richtig sei, dass die Grösse einer Distanz nach der Anzahl von Netzhautelementen geschätzt werde, die sie zwischen sich fasse, so müsse eine Linie oder Distanz auf der Netzhaut gleich gross erscheinen, wenn ihre Endpunkte die einander nächsten und wenn sie die am meisten von einander entfernten Punkte zweier bestimmter Netzhautelemente trafen, und eine Linie oder Distanz, die fast um 2 Durchmesser eines Netzhautelementes grösser oder kleiner als eine andere sei, könne daher unter Umständen doch

eben so gross erscheinen; ein Irrthum, der bei grösseren Linien oder Distanzen allerdings zu vernachlässigen sei, nicht aber auch bei mikrometrischen Linien und Distanzen. Bei mikrometrischen Versuchen nach der Methode der mittleren Fehler müsse also hiervon ein spürbarer Irrthum in der Gleichschätzung der Distanzen abhängen; die Grösse des hiervon abhängigen mittleren Fehlers müsse eine Beziehung zu dem Durchmesser der Netzhautelemente haben; die Volkmann'sche Constante könnte diesen mittleren Fehler repräsentiren und demnach einen Schluss auf die Dimensionen der Netzhautelemente gestatten, wenn das Abhängigkeitsverhältniss zwischen beiden bekannt wäre.

Indessen dieser Versuch Fechner's, den mittleren Fehler der Volkmann'schen Augenmaassversuche, welcher in Wirklichkeit die mittlere Abweichung vom Mittelwerthe des eben unmerklichen Unterschiedes repräsentirt, in jene 2 Componenten zu zerlegen, besitzt so lange gar keinen weiteren Werth, als man das Verhältniss nicht kennt, in welchem dieser mittlere Fehler oder speciell die Weber'sche Variable zum Unterschiedsschwellenwerthe steht. Die Voraussetzung, dass letzterer der Weber'schen Variablen proportional gehen müsse, ist nicht im Mindesten erwiesen. Ferner ist zu berücksichtigen, dass nach den späteren Augenmaassversuchen Volkmann's der relative Werth des mittleren Fehlers nicht bloss bei Verwendung sehr kleiner Distanzen, sondern auch bei Benutzung grösserer Distanzen von 1 bis 60 mm., die in einer Sehweite von c. 340 mm. betrachtet werden, mit der absoluten Grösse der Hauptdistanz zunimmt. Versucht man nun z. B. auf Grund der von Volkmann (a. a. O. S. 124) mitgetheilten und von diesem Forscher selbst angestellten Versuchsreihe, bei welcher die 5 benutzten horizontalen Hauptdistanzen 1, 2, 3, 4, 5 mm. betrug, die Volkmann'sche Constante und die Weber'sche Variable nach der Methode der kleinsten Quadrate zu berechnen, so stimmen die gefundenen Werthe beider Grössen durchaus nicht mit denjenigen Werthen überein, die sich aus der von Fechner behandelten Versuchsreihe Volkmann's ergeben, bei welcher die gleichfalls horizontalen Hauptdistanzen bei derselben Sehweite nur 0,2 bis 1,4 mm. betrug. Und berechnen wir mit Hülfe der aus jener Versuchsreihe Volkmann's abgeleiteten Werthe der Volkmann'schen Constanten und der Weber'schen Variablen rückwärts wieder die zu den verschiedenen Hauptdistanzen zugehörigen mittleren Fehler, so zeigen sich so be-

deutende Abweichungen der beobachteten und der berechneten mittleren Fehler, dass die Untrifftigkeit der Zerlegung des mittleren Fehlers in jene 2 Componenten ganz ausser Zweifel steht.

§ 79.

Jene Deutung der Volkmann'schen Constanten, wenn eine solche überhaupt existirte, beruht übrigens auf einer Voraussetzung, die wir durchaus nicht zu theilen vermögen, nämlich auf der Voraussetzung, dass bei Augenmaassversuchen der Art, wie sie von Volkmann, Fechner u. A. angestellt wurden, die Distanzen nach den Zahlen der Netzhautelemente geschätzt würden, die ihre Projectionen auf der Netzhaut zwischen sich fassen. Nun ist es aber kaum einem Zweifel unterworfen, dass jede genauere Vergleichung zweier Raumgrössen, Linien, Winkel oder Flächen, Augenbewegungen zu Hülfe nimmt und im Grunde nur eine Vergleichung der die Augenbewegungen begleitenden Muskelempfindungen ist.*) Wir erblicken daher mit Wundt u. A. ebenso wie in den Resultaten der Versuche Weber's und Fechner's mit gehobenen Gewichten auch darin, dass das Weber'sche Gesetz innerhalb gewisser Grenzen für das Augenmaass annähernd gilt, einen Beweis des annähernden Bestehens dieses Gesetzes für den Muskelsinn; und der Umstand, dass sich bei den Augenmaassversuchen ganz entsprechende Abweichungen von diesem Gesetze herausgestellt haben wie bei jenen Gewichtsversuchen, scheint uns darauf hinzudeuten, dass das Weber'sche Gesetz für den Muskelsinn allgemein nur mit gewissen Abweichungen gilt, die den im Gebiete des Gesichtssinnes bestehenden Abweichungen von jenem Gesetze ganz analog sind. Hiermit bestreiten wir jedoch nicht die Möglichkeit dessen, dass die unteren Abweichungen sich bei Gewichtsversuchen wegen des eigenen Gewichtes des Armes noch mehr bemerklich machen als bei Augenmaassversuchen. Bei Versuchen der letzteren Art sind die Verhältnisse viel zu complicirt, als dass sich darüber etwas aus-

*) Man vergl. hierzu die erste Anmerkung zu § 80. Sollte sich bei Augenmaassversuchen, die bei fixirter Blicklinie angestellt werden, betreffs des Weber'schen Gesetzes ganz dasselbe herausstellen wie bei den bisherigen Augenmaassversuchen, so wird man die Reproduction der sogenannten Muskelgefühle in Betracht zu ziehen haben.

sagen liesse, ob die für den Muskelsinn allgemein bestehenden unteren Abweichungen vom Weber'schen Gesetze im Gebiete des Augenmaasses durch irgend welche besondere Umstände und Verhältnisse wenigstens scheinbar noch gesteigert oder vermindert werden. Zur Entscheidung dieser Frage müssten wir ganz genau wissen, wie sich die Widerstände verhalten, welche die Conjunctiva und die in die Orbita eingebetteten Gewebe den Bewegungen des Augapfels entgegenstellen, in welcher Weise bei einer Augenbewegung diejenigen Muskeln, welche durch dieselbe gedehnt werden, sich mit geltend machen u. dergl. m. Zum grossen Theile werden diese Verhältnisse nicht unbedeutende individuelle Schwankungen zeigen; man könnte z. B. erwarten, dass sich wegen des verschiedenen Baues des Augapfels das Weber'sche Gesetz bei Augenmaassversuchen eines stark Kurzsichtigen anders bewähren werde als bei Versuchen eines Normal- oder Weitsichtigen. Unter Umständen dürfte übrigens auch dies mit zu berücksichtigen sein, dass wir den Umfang einer Augenbewegung genau genommen nicht nach der Grösse der betrachteten Distanz, sondern nach dem Winkel zu schätzen haben, um den die Blicklinie bei Durchmessung der Distanz gedreht wird.

§ 80.

An die im Bisherigen besprochenen Augenmaassversuche schliessen sich die Beobachtungen an, die Wundt*) ausgeführt hat, um die Empfindlichkeit für Aenderungen der Convergenzstellung der Augen näher zu prüfen, Beobachtungen, bei denen es sich im Grunde ebenso wie bei den Augenmaassversuchen um die Empfindlichkeit für die Intensitätsunterschiede der Muskelempfindungen handelte, welche unsere Augenstellungen und Augenbewegungen begleiten. Diese Beobachtungen wurden in folgender Weise angestellt. Die Versuchsperson blickte durch einen in einem aufrecht stehenden Brette angebrachten horizontalen Schlitz mit beiden Augen nach einer entfernten weissen Wand. Zwischen letzterer und den Augen konnte ein vertical aufgehängter und durch ein Gewicht gespannter schwarzer Faden, der sich in der Medianebene befand, hin- und hergeschoben

*) Beitr. z. Th. d. S., S. 195 u. 415, Ph. Ps. S. 556 f.

werden. Durch kleine Verschiebungen dieses Fadens, auf den sich beide Augen in symmetrischer Convergenzstellung einstellten, wurden für verschiedene Abstände des Fadens diejenigen Convergenzänderungen ermittelt, bei denen die Annäherung oder Entfernung des Fadens eben merkbar war.*) Aus den in dieser Weise angestellten Versuchen ergibt sich, dass bei zunehmender Convergenz die absolute Grösse der eben merklichen Winkelverschiebung der Gesichtslinie beträchtlich anwächst, so jedoch, dass die relative Grösse derselben, d. h. die Grösse derselben, dividirt durch den Winkel, um den die Gesichtslinie bereits vor der Verschiebung des Fadens von der Richtung abweicht, die senkrecht auf der Verbindungslinie der Drehpunkte beider Augen steht**), dem Weber'schen Gesetze gemäss innerhalb gewisser Grenzen merklich constant bleibt. Die Empfindlichkeit für die Convergenzänderungen war nur für die grösseren Abstände des Fadens bei Entfernung desselben eine etwas geringere als bei

*) Um den Einfluss auszuschliessen, den bei Verrückung des Fadens die Verschiebung des Netzhautbildes desselben haben könnte, führte Wundt die Versuche zum Theil in der Weise aus, dass die Augen im Momente der Verschiebung des Fadens geschlossen wurden, sich dann auf die entfernte weisse Wand und hierauf erst auf den verschobenen Faden einstellten. In anderen Versuchen wurde der Faden fortwährend fixirt, während die Verrückung desselben stattfand, ohne dass dabei die Resultate merklich andere wurden. — **) Wir setzen voraus, dass die auf der Verbindungslinie der Drehpunkte beider Augen senkrechte Richtung der Blicklinie annähernd diejenige ist, bei welcher weder der Rechts- noch der Linkswender des Auges innervirt ist, von dem beständigen Tonus abgesehen, in dem sich die Augenmuskeln möglicher Weise (vergl. E. Hering, Die Lehre vom binocul. Sehen, S. 111) in Folge einer geringen stetigen Innervation befinden. Der Winkel, durch den nach dieser Voraussetzung die eben merkliche Winkelverschiebung des Fadens zu dividiren ist, um die relative Grösse dieser Verschiebung zu erhalten, ist offenbar dem halben Convergenzwinkel gleich. Wundt beschränkt sich darauf, zu zeigen, dass das Verhältniss der eben merklichen Annäherung des Fadens zur absoluten Entfernung desselben ein annähernd constantes ist. Thatsächlich kommt aber, wie leicht zu erkennen, nicht dieses Verhältniss, sondern das Verhältniss der eben merklichen Zunahme des Convergenzwinkels zur bereits vorhandenen Grösse dieses Winkels in Betracht. Doch ist für die von Wundt benutzten Entfernungen des verticalen Fadens der Unterschied dieser beiden Verhältnisse nur ein äusserst geringer.

Annäherung desselben; sonst war sie in beiden Fällen gleich gross; und zwar war die relative Grösse der eben merklichen Winkelverschiebung der Blicklinie im Mittel $= \frac{1}{51}$.

11. Capitel.

Versuche mit Schall-, Geschmacks- und Temperaturreizen.

§ 81.

Betreffs der Frage, ob das Weber'sche Gesetz auch für die Schallstärken Gültigkeit besitze, liegen uns leider nur die Untersuchungen Volkmann's (vergl. Fechner, Ps. I, S. 176 ff.) vor. Die ersten, nur vorläufigen Versuche Volkmann's wurden mit einem pendulirenden, hölzernen Hammer angestellt, der gegen eine viereckige Glasflasche schlug. Bei den späteren, genaueren Versuchen wurden die Schallstärken durch frei auf eine stählerne Platte herabfallende Stahlkugeln erzeugt. Der Abstand des Beobachters, die Gewichte der fallenden Kugeln und die Fallhöhen wurden in weiten Grenzen abgeändert, in jedem Falle aber genau bestimmt, und zwar die Fallhöhen an einer verticalen Skala, längs deren der Fall erfolgte. Die Methode, nach welcher diese Schallversuche Volkmann's angestellt wurden, haben wir bereits in § 19 näher erörtert; wir mussten uns leider davon überzeugen, dass dieselbe eine sehr unzulängliche war und sich höchstens unter der Voraussetzung, dass das Maass der Präcision, mit welcher ein Schallreiz aufgefasst wird, der demselben zugehörigen absoluten Unterschiedsempfindlichkeit proportional gehe, aus den Ergebnissen dieser Volkmann'schen Versuche auf eine gewisse Gültigkeit des Weber'schen Gesetzes im Gebiete des Hörsinnes schliessen lässt.

Im Gebiete des Geschmacksinnes liegen uns allein die Versuche vor, die Fr. Keppler nach der Methode der r. und f. Fälle angestellt hat, um das Unterscheidungsvermögen des Geschmacksinnes für Concentrationsdifferenzen schmeckbarer Körper hinsichtlich des Weber'schen Gesetzes zu untersuchen. Die zur Zeit vorliegenden Versuchsangaben Keppler's sind aber leider für uns ganz unbrauchbar, weil derselbe das Verfahren befolgte,

die zweifelhaften Urtheilsfälle halb den richtigen und halb den falschen Fällen zuzuweisen und dann den Werth von hD in der von Fechner angegebenen Weise zu berechnen. Aus den von Keppler mitgetheilten Werthen der Summe $\frac{r}{n} + \frac{z}{2n}$ lässt sich absolut nichts schliessen. Wenn wir durch anderweite Untersuchungen über das Verhalten des Unterschiedsschwellenwerthes im Gebiete des Geschmacksinnes einigermaassen unterrichtet wären, so würde sich wenigstens betreffs des Ganges, welchen das Maass der Präcision, womit ein Geschmacksreiz aufgefasst wird, bei wachsender Reizstärke nimmt, aus den Werthen jener Summe etwas erschliessen lassen. Aber auch dies ist nicht der Fall. Wir haben daher keinen Anlass, auf eine weitere Besprechung dieser unter anderen Umständen für uns sehr werthvollen und interessanten Versuche einzugehen, und müssen betreffs der Art der Ausführung derselben auf die eigenen Mittheilungen Keppler's (Pflüger's Arch. II, S. 449 ff.) verweisen.

§ 82.

Versuchen, welche darauf gerichtet sind, zu prüfen, ob das Weber'sche Gesetz auch für unsere Temperaturempfindungen Gültigkeit besitze, stehen besondere Schwierigkeiten entgegen. Während innerhalb der anderen Sinnesgebiete kein Zweifel darüber besteht, nach welchem Principe die Intensitäten der verschiedenen Reize zu messen und mit einander zu vergleichen sind, ist man nicht im Stande für zwei gegebene Temperaturreize mit Sicherheit das Intensitätsverhältniss zu bestimmen, in dem sie als Sinnesreize zu einander stehen. Licht- und Schallreize sind ohne Zweifel nach der lebendigen Kraft der Schwingungen des Lichtäthers und der Luft zu bemessen. Die Intensitäten von Temperaturreizen aber dürfen wir nicht schlechthin nach der lebendigen Kraft der Bewegungen bestimmen, in denen sich die kleinsten Theilchen der in Berührung mit der Haut gebrachten Massen befinden. Vielmehr ist unzweifelhaft, dass der Ausgangspunkt, von dem aus wir die Temperaturreize zu messen haben, zwischen den Temperaturen angenommen werden muss, welche deutliche Wärme- und deutliche Kälteempfindungen bewirken.*)

*) Mit der Thatsache, dass bei gewisser Mitteltemperatur keine

Aber eben die Bestimmung dieser Mitteltemperatur, welche in Folge eines gewissen Adaptationsvermögens, das die Haut länger andauernden Temperaturgraden ihrer Umgebung gegenüber besitzt, eine wechselnde ist und je nach Oertlichkeit der Körperoberfläche und noch verschiedenen anderen Umständen variiert, und welche wohl als die sogenannte Eigenwärme der Haut oder gewisser Theile und Schichten derselben angesehen werden kann, ist bisher noch nicht ausgeführt worden und überhaupt nicht leicht mit Genauigkeit zu bewerkstelligen.

Die Methode, die bei den hierher gehörigen Versuchen Fechner's (Ps. I, S. 201 ff.) befolgt wurde, war nach Fechner's Aussage diejenige der eben merklichen Unterschiede. Zwei Finger einer und derselben Hand wurden in 2 Gefässe mit ungleich warmem Wasser eingetaucht, und der Temperaturunterschied beider Gefässe wurde so lange abgeändert, bis derselbe nur eben merklich erschien. Die beiden Gefässe, in denen das Wasser von verschiedener Temperatur enthalten war, waren grosse thönerne Häfen, damit die Temperaturänderungen möglichst verlangsamt würden. „Sie waren so weit mit Wasser gefüllt, dass beim Eintauchen des Zeige- und Mittelfingers der rechten Hand bis auf den Boden das Wasser gerade bis an das Gelenk zwischen dem 1. und 2. Gliede des Zeigefingers (von der palma an gerechnet) reichte. So ward stets dieselbe Berührungsgrösse mit dem Wasser hergestellt. Die Thermometer, in geeigneten Gestellen befestigt, tauchten mit den Kugeln bis in die Mitte des Wassers, das vor jeder Beobachtung gut umgerührt ward. Die Temperatur der Wässer ward theils durch Umrühren mit Eis,

Temperaturempfindung eintritt und die Intensität der eintretenden Wärme- oder Kälteempfindung im Allgemeinen um so grösser ist, je weiter man sich nach oben oder unten von jener Mitteltemperatur entfernt, 'steht es offenbar in sehr engem Zusammenhange, dass nach den Untersuchungen von J. Steiner (Reichert's Arch. v. 1876, S. 382 ff.) die elektromotorische Kraft des Nervenstromes zwischen 14° und 25° Celsius ein Maximum besitzt und sich um so mehr verringert, je mehr die auf den Nerven einwirkende Temperatur nach oben oder unten von jener zwischen 14° und 25° gelegenen Mitteltemperatur abweicht. Die Höhe derjenigen Mitteltemperatur, welche dem Nullpunkte der Temperaturempfindung beim Menschen entspricht, lässt sich aus diesen Versuchen Steiner's nicht ermassen, weil dieselben, von Anderem ganz abgesehen, nicht am menschlichen Sinnesnerven angestellt wurden.

theils mit Metall- oder Thongeschirren, welche auf dem heissen Ofen standen, abgeändert. Die zwei Finger, welche den Versuch vornahmen, wurden erst so lange in einem beider Gefässe bis an den Boden eingetaucht gelassen, bis sie eine constante Temperatur angenommen, dann abwechselnd in das eine und andere Gefäss getaucht, bis sich ein Urtheil gebildet hatte. War die Temperaturempfindung“, bemerkt Fechner weiter, „über der, die ich als eben merklich bezeichnete, so wurde die Temperatur durch Umrühren in entgegengesetzter Richtung abgeändert, so dass ich nicht wusste, ob der Ueberschuss der Temperatur an das andere Gefäss übergegangen sei oder nicht, und die Beobachtung wiederholt, bis sich, meist erst nach mehrfacher Wiederholung dieser Abänderung, ein eben merklicher Unterschied einfand, ein Verfahren, das freilich ziemlich langwierig ist.“ Aus dieser Auslassung Fechner's ergibt sich, dass die hier in Rede stehenden Versuche desselben thatsächlich nicht nach der wirklichen Methode der eben merklichen Unterschiede angestellt worden sind, bei welcher ein untermerklicher Unterschied allmählich so lange vergrössert wird, bis er eben merklich wird, sondern vielmehr nach der in § 18 besprochenen, wenig zulänglichen Methode, bei welcher sich der Beobachter einen sehr geringen Empfindungsunterschied einprägt und bei den verschiedenen Versuchsumständen sich wieder zu vergegenwärtigen und durch Abänderung der Unterschiedscomponenten wieder herzustellen sucht.

Als Ergebniss seiner in der angegebenen Weise angestellten Beobachtungen giebt Fechner Folgendes an. Innerhalb der Temperaturen von etwa 10° bis 20° R. sei die Empfindlichkeit für Temperaturunterschiede so gross, dass die eben merklichen Unterschiede keine genaue Bestimmung zuliessen. Ein Maximum der Unterschiedsempfindlichkeit, wo verschwindende oder fast verschwindende Unterschiede appercipirt würden, liege jedenfalls innerhalb dieser Grenzen, ohne eine genaue directe Bestimmung zuzulassen. Ueber 20° R. bis zur Blutwärme, über die hinaus Fechner's Versuche nur sehr unerheblich gingen, seien, wenn man als Maass des Temperaturreizes den Temperaturüberschuss über die Mitteltemperatur zwischen Frostkälte und Blutwärme, d. i. den Ueberschuss über $14^{\circ},77$ R., betrachte, die Ergebnisse dem Weber'schen Gesetze sehr wohl entsprechend, indem innerhalb der angegebenen Grenzen der eben merkliche Temperatur-

unterschied sich der Erhebung über jene Mitteltemperatur proportional zeige. Hingegen stimme die Grösse des eben merklichen Unterschiedes für Temperaturen von 10° R. an abwärts mit dem Weber'schen Gesetze keineswegs überein; vielmehr nehme für diese Temperaturen mit zunehmender Kälte die relative Unterschiedsempfindlichkeit ziemlich schnell ab, so dass man den eben merklichen Temperaturunterschied mit ziemlicher Annäherung $= 0,002734 (T-t)^3$ setzen könne, wo $T = 14^{\circ},77$ und t die unterhalb 10° R. liegende Temperatur sei, bei welcher der eben merkliche Temperaturunterschied erhalten werde.

Fechner selbst meint, dass zur Sicherstellung des Weber'schen Gesetzes oberhalb jener Mitteltemperatur die Anzahl der von ihm ausgeführten Beobachtungen noch nicht genüge, so dass nach Allem das Resultat seiner Versuche nur als ein vorläufiges gelten könne, welches möglicher Weise noch einer Modification unterliegen müsse. Wir können dieses Urtheil nur verschärfen. Folgende Tabelle enthält die Temperaturen t , deren sich Fechner oberhalb der Temperatur von 19° R. bediente, und die zugehörigen Werthe d des eben merklichen Unterschiedes.

Tabelle XI.

Werthe von t : (nach Reaumur'scher Skala)	Zugehörige Werthe von d :	
	Beobachtet	Berechnet nach der Formel: $d = (t - 14^{\circ},77)^3 \cdot 0,08623$
19,13	0,15	0,16
20,45	0,20	0,21
20,63	0,15	0,21
21,20	0,20	0,23
21,73	0,25	0,25
23,30	0,30	0,31
25,35	0,40	0,39
26,30	0,40	0,42
28,80	0,60	0,51
30,50	0,60	0,57
31,35	0,60	0,60

Wie man sieht, sind die Angaben der beobachteten eben merklichen Temperaturunterschiede nicht so genau und umfangreich, dass auf die annähernde Uebereinstimmung der berechneten Werthe mit denselben viel zu geben ist, zumal da der Aus-

gangspunkt $14^{\circ},77$, von dem aus die Wärmereize berechnet worden sind, denen die eben merklichen Unterschiede proportional sein sollen, ein ganz willkürlicher ist. Denn weder fand Fechner das Maximum der absoluten Unterschiedsempfindlichkeit bei jener Temperatur von $14^{\circ},77$, vielmehr scheint dieses nach seinen Versuchen bei 17° R. zu liegen, noch scheint jene Temperatur die Mitteltemperatur zu sein, bei welcher Wasser, in das wir unsere Finger tauchen, im Allgemeinen weder eine Kälte- noch eine Wärmeempfindung hervorruft. *) Hierzu kommt die Mangelhaftigkeit der von Fechner bei diesen Versuchen angewandten Methode und der Umstand, dass die Beobachtungen E. H. Weber's zu einem ganz anderen Resultate geführt haben als die Versuche Fechner's. Weber bemerkt nämlich (Tasts. u. Gemeingef. S. 554), dass die Vergleichung zweier Temperaturen am allervollkommensten gelinge, wenn man denselben Finger oder dieselbe Hand bald in das eine, bald in das andere von 2 neben einander stehenden, mit Wasser verschiedener Temperatur gefüllten Gefässen eintauche, und fährt darauf folgendermaassen fort: „Unter diesen Umständen kann man bei grosser Aufmerksamkeit mit der ganzen Hand noch die Verschiedenheit zweier Temperaturen entdecken, die nur $\frac{1}{5}$ oder $\frac{1}{6}$ eines Grades der Reaumur'schen Skala beträgt. Den Unterschied von $\frac{2}{5}$ eines Grades nehmen die meisten Menschen mit Sicherheit wahr. Man könnte glauben, dass die Wahrnehmung einer so geringen Differenz nur bei Temperaturen gelingen würde, welche der Blutwärme sehr nahe sind. Ich muss aber bemerken, dass ich nicht gefunden habe, dass grössere Differenzen erforderlich seien, um 2 Temperaturen, wenn sie $+ 14^{\circ}$ R. nahe liegen, von einander zu unterscheiden, als wenn sie der Blutwärme nahe sind.“ Während Fechner den eben merklichen Temperaturunterschied bei 14° R. ungefähr $= 0,15^{\circ}$ und in der Nähe der Blutwärme ungefähr vier Mal so gross fand, scheint hiernach Weber bei beiden Temperaturen denselben Werth des eben merklichen Unterschiedes (etwa $0,18^{\circ}$) erhalten zu haben. Nach Nothnagel (vergl. Vierordt, Der Zeitsinn nach Versuchen, S. 161) zeigt die Cutis das Maximum ihrer Empfindlichkeit für Temperaturunterschiede zwischen 22°

*) Vergl. E. H. Weber, Annot. Anat., S. 120: „Aqua si 19 gradus scalae R. calida aut frigidior est, manum non caloris, sed frigoris sensu afficit.“

und 26° R. Auch die Versuchsreihen, die Lindemann (De sensu caloris, Halis 1857) auf Anregung Volkmann's behufs Prüfung der Empfindlichkeit für Temperaturunterschiede nach der Methode der mittleren Fehler anstellte, und die allerdings wegen der geringen Anzahl der für jedes Temperaturintervall ausgeführten Beobachtungen nur wenig maassgebend sind, stimmen insofern mit den Versuchsergebnissen Fechner's nicht überein, als Lindemann das Intervall kleinster Fehler um die Blutwärme herum findet, während nach Fechner's Versuchen das Intervall kleinster bemerkbarer Unterschiede um die Temperatur von 17° R. herum zu liegen scheint.

Unter solchen Umständen müssen wir Bedenken tragen, auf Grund der wenigen Versuche Fechner's die Gültigkeit des Weber'schen Gesetzes für ein Gebiet von Temperaturreizen zu behaupten. Es ist möglich, dass künftige, genaue und umfangreiche Versuchsreihen die Beobachtungsergebnisse Fechner's bestätigen; es ist aber auch sehr wohl denkbar, dass sie mit den Angaben von Weber, Nothnagel oder Lindemann übereinstimmen werden. Kurz, die Gültigkeit des Weber'schen Gesetzes für die Wärmereize ist zur Zeit noch nicht erwiesen. Für die sehr hohen Temperaturen, bei denen das Gefühl des Brennens eintritt, besteht dieses Gesetz sicherlich nicht, und ebenso scheint dasselbe nach Fechner's Versuchen für die mit Kälteempfindungen verknüpften Temperaturen, kurz für die Kältereize, nicht zu gelten. Es ist nicht unwahrscheinlich, dass die schnelle Abnahme der relativen Unterschiedsempfindlichkeit, welche nach Fechner's Versuchen bei fortgesetzter Steigerung der einwirkenden Kälte eintritt, wie Wundt vermuthet, in der Herabsetzung der Reizbarkeit ihren physiologischen Grund hat, welche durch die Einwirkung der Kälte bewirkt wird.

Dritter Abschnitt.

Die Deutung des Weber'schen Gesetzes.

1. Capitel.

Die psychophysische und die physiologische Auffassung
des Weber'schen Gesetzes.

§ 83.

Blicken wir auf die verschiedenen Versuche und Beobachtungsreihen zurück, die wir im vorigen Abschnitte besprochen haben, so ergibt sich, dass das Weber'sche Gesetz für den Gesichtssinn und den Muskelsinn der Arm- und Augenmuskeln innerhalb gewisser Grenzen mit Annäherung gilt. Betreffs des Gehörsinnes lässt sich zur Zeit höchstens dies behaupten, dass es nicht unwahrscheinlich sei, dass das Weber'sche Gesetz im Gebiete der Schallreize eine gewisse Gültigkeit besitze. Ob diesem Gesetze auch für die Geschmacksreize und Wärmereize eine gewisse Gültigkeit zugeschrieben werden dürfe, lässt sich nach den zur Zeit vorliegenden, unzulänglichen Versuchsdaten nicht entscheiden. Für die Kältereize und den Drucksinn der Hautbedeckung der Hände ist das Weber'sche Gesetz nach den bisherigen Versuchen ungültig; und betreffs des Geruchsinnes, des Drucksinnes der übrigen Theile der Hautoberfläche, des Muskelsinnes der übrigen Muskeln und betreffs der Reize, welche auf die empfindenden Organe im Inneren unseres Körpers ausgeübt werden, und deren Wirkungen uns in dem sogenannten Gemeingefühle mit zum Bewusstsein kommen, liegen irgend welche hierher gehörige Untersuchungen zur Zeit noch nicht vor. Auch ist die Gültigkeit des Weber'schen Gesetzes in den Sinnesgebieten, in denen es in irgend einem Maasse gültig zu sein scheint, bisher nur für sogenannte adäquate Reize erwiesen.

Die grossen Erwartungen, die man betreffs des Umfanges der Gültigkeit des Weber'schen Gesetzes gehegt hat, haben sich also nur wenig bestätigt. Nach Allem macht es uns den Ein-

druck, als besitze dieses Gesetz nur im Gebiete des Gesichtssinnes, Muskelsinnes und vielleicht auch des Gehörsinnes eine gewisse Gültigkeit. Aber auch in diesen Sinnesgebieten ist das Weber'sche Gesetz nur innerhalb eines gewissen Bereiches mittlerer Reizintensitäten und selbst innerhalb dieser Grenzen nur mit mehr oder weniger Annäherung gültig. Man pflegt von oberen und unteren Abweichungen vom Weber'schen Gesetze zu sprechen, die in den verschiedenen Sinnesgebieten beständen. Diese Ausdrucksweise ist, wie uns dünken will, streng genommen nicht die sachgemässe. Nach den Untersuchungen des vorigen Abschnittes möchten wir uns vielmehr folgendermaassen ausdrücken. Bei allmählich wachsender Reizstärke nimmt die relative Unterschiedsempfindlichkeit in verschiedenen Sinnesgebieten, z. B. auch im Gebiete des Drucksinnes, zunächst zu, erreicht bei gewisser Reizintensität ein Maximum und nimmt dann, nachdem sie dieses Maximum erreicht hat, bei fortgesetzter Steigerung der absoluten Reizstärke allmählich wieder ab. Von diesem allgemeinen Typus weicht der Gang, den die relative Unterschiedsempfindlichkeit im Gebiete des Gesichtssinnes, Muskelsinnes und vielleicht auch Gehörsinnes nimmt, keineswegs ab; nur findet hier, wahrscheinlich aus Zweckmässigkeitsgründen, der Fall statt, dass die relative Unterschiedsempfindlichkeit innerhalb eines grösseren oder kleineren Bereiches mittlerer Reizintensitäten, innerhalb dessen sie ihr Maximum erreicht, bei zunehmender Reizstärke nur sehr langsam wächst, bez. abnimmt, so dass sie innerhalb gewisser Grenzen ohne merklichen Nachtheil als constant betrachtet werden kann. Bei solcher Sachlage ist man streng genommen nicht berechtigt, von unteren und oberen Abweichungen vom Weber'schen Gesetze zu sprechen, da die Gültigkeit dieses Gesetzes gar nicht als das Allgemeinere und Regelmässige zu betrachten ist. Doch werden wir uns der Einfachheit und Kürze halber im Folgenden noch dieser einmal eingebürgerten Ausdrücke bedienen.

§ 84.

Sehen wir zunächst ganz davon ab, dass der Umfang und der Grad der Gültigkeit des Weber'schen Gesetzes ein ziemlich beschränkter ist, so lässt sich kurz sagen, dass nach diesem Gesetze, wie wir dasselbe gefasst haben, zwei Sinnesreize gleicher

Qualität, welche einen in bestimmtem Maasse merklichen, z. B. eben merklichen, Intensitätsunterschied darbieten, in einem von der absoluten Reizstärke unabhängigen, constanten Verhältnisse zu einander stehen müssen. So interessant nun auch dieses Gesetz wegen der aus ihm sich ergebenden und sich erklärenden Erscheinungen, z. B. der annähernd geometrischen Reihe der Sternintensitäten, in dieser rein empirischen Fassung erscheint, in welcher es nur wegen des Maasses seiner Gültigkeit Zweifel erregen kann, so hat man sich doch bisher durchaus nicht damit begnügt, dasselbe als ein zunächst nur unsere Unterschiedsempfindlichkeit betreffendes Gesetz aufzufassen, sondern ist in weiten Kreisen der Ansicht, dass sich aus den im vorigen Abschnitte erörterten experimentellen Untersuchungen ohne weitere, erst noch zu discutirende Schlussfolgerungen ein Gesetz ergebe, das uns über das functionelle Verhältniss, in welchem die Empfindungsintensität zur Reizstärke steht, aufkläre; und ein Bedürfniss, zwischen dieser Deutung jener Thatsachen (der sogenannten Maassformel Fechner's) und der rein empirischen Auffassung derselben (dem Weber'schen Gesetze unserer Fassung) zu unterscheiden, war bis auf die neueste Zeit überhaupt nicht empfunden worden. Nehmen wir Beispiels halber an, es müsse, um eine eben merkliche Erhöhung der vorhandenen Gesichtsempfindung hervorzurufen, ein Lichtreiz von der Intensität 100 um 1 Intensitätseinheit und ein Lichtreiz von der Intensität 1000 um 10 Intensitätseinheiten verstärkt werden, so würde diese Thatsache zunächst doch weiter nichts besagen, als dass in beiden Fällen die einwirkende Lichtintensität um einen gleichen Bruchtheil vermehrt werden müsse, wenn die vorhandene Lichtempfindung in dem Maasse erhöht werden solle, dass die Steigerung derselben mittelst der vergleichenden Thätigkeit der Seele eben merkbar werde. Ob nun in beiden Fällen der Zuwuchs zu der bestehenden Empfindungsintensität, welcher nothwendig ist, damit unserem „beziehenden Wissen“ die vorhandene Gesichtsempfindung eben verstärkt erscheine, ein gleicher sei oder nicht, das ist eben eine wohl zu überlegende Frage. Die zur Zeit noch herrschende Fechner'sche Auffassung des Weber'schen Gesetzes setzt aber ohne Weiteres voraus, dass diese Frage in bejahendem Sinne zu beantworten sei, dass also allgemein gleich merkliche Empfindungszuwüchse als gleich grosse Zuwüchse zu betrachten seien, und kommt dabei zu dem in der sogenannten Maassformel Fech-

ner's ausgesprochenen Resultate, dass die Empfindungsintensität dem Logarithmus der Reizstärke proportional gehe. Brentano, Hering u. A. bestreiten hingegen die Berechtigung jener Voraussetzung. Je nachdem sich die verschiedenen Auffassungen des Weber'schen Gesetzes für oder gegen jene Voraussetzung der gleichen Grösse gleich merklicher Empfindungszuwüchse erklären, lassen sich dieselben in 2 Gruppen scheiden. Wir setzen zunächst mit Fechner u. A. voraus, dass gleich merkliche Intensitätszuwüchse, welche zu Empfindungen gleicher Qualität hinzukommen und bei einem und demselben Versuchsverfahren erhalten werden, allgemein auch gleich grosse Empfindungszuwüchse seien, entwickeln in diesem Capitel die Consequenzen dieser Voraussetzung und untersuchen in den folgenden Capiteln, ob wirklich von den verschiedenen, auf dieser Voraussetzung fussenden Deutungen des Weber'schen Gesetzes die Fechner'sche Deutung als die zur Zeit wahrscheinlichste zu betrachten sei. Im 11. Capitel werden wir dann auf die zweite Gruppe von Ansichten näher eingehen, welche die Berechtigung jener Voraussetzung bestreiten und mit Zuhülfenahme anderweiter, psychologischer Voraussetzungen eine Erklärung des Weber'schen Gesetzes versuchen.

§ 85.

Nehmen wir an, dass die Grösse eines in bestimmtem Maasse merklichen, z. B. eben merklichen, Empfindungsunterschiedes bei gleichem Versuchsverfahren im Allgemeinen immer dieselbe sei, so wird nach dem Weber'schen Gesetze der Empfindungsunterschied $s' - s''$ so lange eine constante Grösse besitzen, als das Verhältniss der beiden einwirkenden Reize r' und r'' ein constantes bleibt. Es ist mithin allgemein der Empfindungsunterschied $s' - s''$ als eine Function des Reizverhältnisses $\frac{r'}{r''}$

zu betrachten. Ist aber $s' - s''$ allgemein $= f\left(\frac{r'}{r''}\right)$ zu setzen,

so folgt nothwendig die Gültigkeit der Gleichung: $s = x \log r + c$, wo x und c zwei Constanten bedeuten; und zwar ist der Beweis

für diese Behauptung, dass, wenn allgemein $s' - s'' = f\left(\frac{r'}{r''}\right)$,

sei, die Empfindungsintensität s eine logarithmische Function der Reizstärke sein müsse, auf folgende Weise leicht zu führen,

Wird angenommen, dass $s' - s''$ allgemein $= f\left(\frac{r'}{r''}\right)$ sei,

so ist $s' - s'' = f\left(\frac{r'}{r''}\right)$ und desgleichen

$$s'' - s''' = f\left(\frac{r''}{r'''}\right).$$

Addirt man beide Gleichungen, so findet sich

$$s' - s''' = f\left(\frac{r'}{r''}\right) + f\left(\frac{r''}{r'''}\right).$$

Da nun $s' - s'''$ auch $= f\left(\frac{r'}{r'''}\right)$ gesetzt werden kann, so

ist offenbar $f\left(\frac{r'}{r''}\right) + f\left(\frac{r''}{r'''}\right) = f\left(\frac{r'}{r'''}\right).$

Bezeichnen wir $\frac{r'}{r''}$ mit x und $\frac{r''}{r'''}$ mit y , so ist $\frac{r'}{r'''} = xy$,

mithin nach vorstehender Gleichung

$$f(x) + f(y) = f(xy).$$

Nun kann, wie mathematisch bewiesen ist (vergl. z. B. Schlömilch, Handbuch der algebr. Analysis, 2. Aufl., S. 86 ff.), einer Gleichung: $f(x) + f(y) = f(xy)$, nicht anders allgemein genügt werden, als dass man $f(x) = x \log x$, $f(y) = x \log y$ und $f(xy) = x \log xy$ setzt, wo x eine Constante ist. Demnach ist die Function f eine logarithmische Function und

$$s' - s'' = f\left(\frac{r'}{r''}\right) = x \log \frac{r'}{r''} = (x \log r' + c) - (x \log r'' + c)$$

zu setzen, mithin s allgemein $= x \log r + c$.

In vorstehender Formel*) ist der Werth der Constanten c

*) Diese Formel lässt sich auch noch auf andere Weise ableiten; man vergl. z. B. Drobisch in den Sitzungsber. der K. Sächs. Ges. d. W., Math.-Ph. Cl., von 1861, S. 20 ff., und Wundt, Ph. Ps. S. 304 f. Nicht ganz zutreffend finden wir die von Langer (a. a. O. S. 42 ff.) gegebenen Ausführungen und sogar bedenklich die bekannte Fechner'sche Ableitung, welche von der Voraussetzung ausgeht, dass die eben merklichen Empfindungs- und Reizzuwüchse als Differenzialgrössen angesehen werden könnten. Fechner (Ps. II, S. 34 ff.) giebt auch noch eine andere, unserer obigen Entwicklung sehr ähnliche Ableitung; doch nimmt er dabei die sogenannte Thatsache der Reizschwelle mit zu Hülfe, ohne deren Zuziehung sich, wie Fechner irrthümlich behauptet, das logarithmische Abhängigkeitsverhältniss zwischen Empfindungsintensität und Reizstärke nicht

noch unbestimmt. Nach Fechner's Ansicht bestimmt sich derselbe durch die sogenannte Thatsache der Reizschwelle. Setzen wir den Werth der Reizschwelle gleich ϱ , so ist $s = 0$, wenn $r = \varrho$ ist; mithin ist $c = -\kappa \log \varrho$ und

$$s = \kappa \log \frac{r}{\varrho}$$

zu setzen. Aus dieser sogenannten Maassformel Fechner's ergibt sich durch Differenzirung die sogenannte Fundamentalformel:

$$ds = \frac{\kappa dr}{r}.$$

Im Vorstehenden haben wir von den thatsächlichen, unteren und oberen, Einschränkungen, ohne welche das Weber'sche Gesetz in keinem Sinnesgebiete bestehen dürfte, ganz abgesehen. Nehmen wir auf diese Abweichungen vom Weber'schen Gesetze Rücksicht, so haben wir an Stelle der Maassformel eine andere Formel zu setzen, welche mit der Maassformel nur für das Gebiet mittlerer Reizintensitäten, innerhalb dessen das Weber'sche Gesetz mit Approximation gilt, annähernd übereinstimmt. Es sei die Gleichung: $s = \Phi(r)$, diejenige Formel, welche unter Voraussetzung gleicher Grösse gleich merklicher Empfindungszuwüchse aus dem thatsächlichen Verhalten des Unterschiedsschwellenwerthes für die Beziehung zwischen Empfindungsintensität und Reizstärke folgt. Alsdann können wir diese Formel, indem wir

$\frac{\Phi(r)}{e^\kappa} = \varphi(r)$ setzen, auch folgendermaassen schreiben:

$$s = \kappa \log \varphi(r). \quad (\text{die corrigirte Maassformel})$$

Hieraus ergibt sich durch Differenzirung .

$$ds = \frac{\kappa \varphi'(r) dr}{\varphi(r)}, \quad (\text{die corrigirte Fundamentalformel})$$

wo $\varphi'(r)$ den Differenzialquotienten der Function $\varphi(r)$ bezeichnet. Diese beiden Formeln sind diejenigen, welche an Stelle der Maassformel und Fundamentalformel Fechner's zu treten haben. Die diesen Formeln eigenthümliche, im Allgemeinen mit der Reizqualität etwas veränderliche Function $\varphi(r)$ geht für das Gebiet mittlerer Reizintensitäten, innerhalb dessen das Weber'sche Gesetz mit Annäherung gilt, den Werthen von r annähernd proportional,

ableiten lasse, es sei denn, dass man sich dazu verstehe, die eben merklichen Reiz- und Empfindungszuwüchse als Differenzialgrössen zu betrachten.

so dass ihr Differenzialquotient für gewisse, mittlere Reizstärken als merklich constant betrachtet werden kann. Wie sich die Function $\varphi(r)$ für die geringen und die hohen Reizintensitäten verhält, ergibt sich aus Folgendem. Bezeichnen wir mit s' und s'' zwei eben merklich verschiedene Empfindungsintensitäten, von denen $s' > s''$ ist, und mit r' und r'' die beiden entsprechenden Reizstärken, so ist nach der corrigirten Maassformel

$$s' - s'' = \kappa \log \frac{\varphi(r')}{\varphi(r'')}.$$

Innerhalb der Grenzen der annähernden Gültigkeit des Weber'schen Gesetzes bleibt nun das Verhältniss der beiden eben merklich verschiedenen Reizstärken ein nahezu constantes, wenn die absolute Grösse von r' und mithin auch von r'' variirt wird. Gehen wir über diese Grenzen hinaus und nehmen wir den absoluten Werth von r' immer kleiner oder immer grösser, so muss thatsächlich das Verhältniss $\frac{r'}{r''}$ immer grösser genommen wer-

den, wenn wirklich ein eben merklicher Empfindungsunterschied erhalten werden soll. Hieraus folgt, dass die Function $\varphi(r)$ von der Art ist, dass sie für die geringen und hohen Reizintensitäten bei constantem Reizzuwuchse langsamer wächst als für die mittleren Reizstärken und zwar um so langsamer wächst, je weiter man sich nach oben oder nach unten von jenem Gebiete mittlerer Reizintensitäten entfernt, innerhalb dessen die relative Unterschiedsempfindlichkeit ihr Maximum erreicht und das Weber'sche Gesetz mit mehr oder weniger Genauigkeit gilt. Es ist also die der Function $\varphi(r)$ entsprechende Curve eine für die geringen Werthe von r gegen die Abscissenaxe convexe und bei wachsendem r sich immer mehr einer geraden Linie nähernde Curve, welche bei weiter fortgesetzter Steigerung von r allmählich in eine gegen die Abscissenaxe concave Curve übergeht und zwar ihren Wendungspunkt bei demjenigen Werthe von r besitzt, wo die relative Unterschiedsempfindlichkeit ihr Maximum erreicht. Ob die Function φ von der Art sei, dass nach der corrigirten Maassformel jeder endliche Reizwerth einen positiven, endlichen Empfindungswerth zu Folge hat, oder nicht, muss dahingestellt bleiben, da zur Zeit (vergl. § 88) noch nicht mit Sicherheit zu entscheiden ist, ob die sogenannte Thatsache der Reizschwelle wirklich besteht. Ganz ohne Zweifel haben wir eine derartige Beschaffenheit jener Function anzunehmen, dass die

Empfindungsintensität nicht erst bei einem unendlich grossen, sondern bereits bei einem bestimmten endlichen Werthe von r ihr Maximum erreicht. Dies etwa ist dasjenige, was sich zur Zeit über den allgemeinen Charakter jener, wie es scheint, mit der Reizqualität etwas veränderlichen Function φ aussagen lässt; es würde verfehlt sein, wollten wir auf Grund des zur Zeit vorliegenden, mangelhaften empirischen Materials die Art jener Function noch näher zu bestimmen suchen.

§ 86.

Es erhebt sich nun die Frage, wie die Gültigkeit der corrigirten Maassformel zu erklären sei. Der äussere Sinnesreiz vermag nur dadurch eine Empfindung hervorzurufen, dass er in gewissen Theilen des Centralorganes eine Nervenerrregung, die sogenannte psychophysische Thätigkeit, deren Intensität wir mit E bezeichnen wollen, hervorruft. Zieht man dieses Mittelglied in Betracht, so bieten sich offenbar 2 verschiedene Deutungen jener Formel dar: entweder geht die Empfindungsintensität der psychophysischen Thätigkeit proportional, und diese wächst innerhalb gewisser Grenzen annähernd wie der Logarithmus des äusseren Reizes, oder zwischen den beiden letzteren Vorgängen besteht innerhalb gewisser Grenzen annähernde Proportionalität, und die Empfindungsstärke nimmt in arithmetischer Progression zu, wenn die psychophysische Thätigkeit in geometrischer Progression wächst. Kurz, entweder ist

$$s = k'E$$

$$\text{und } E = k' \log \varphi(r), \quad (\text{die Erregungemaassformel})$$

wo $k'k''$ gleich der Constanten α der corrigirten Maassformel ist,

oder es ist
$$s = \alpha \log \frac{E}{E_0}$$

oder, wenn wir die Einheit von E bei dem Schwellenwerthe E_0 der psychophysischen Thätigkeit annehmen, einfacher

$$s = \alpha \log E \quad (\text{Fechner's psychophysisches Gesetz})$$

$$\text{und } E = \varphi(r).$$

Von diesen beiden Deutungen der corrigirten Maassformel findet die erstere die Erklärung des Weber'schen Gesetzes in rein physiologischen Vorgängen; die zweite, die Fechner'sche Deutung, erklärt dieses Gesetz durch die Art der Wechselwirkung zwischen Physischem und Psychischem. Wir bezeichnen daher

kurz die zuerst angeführte Deutung des Weber'schen Gesetzes als die physiologische Auffassung und die zweite als die psychophysische Auffassung. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass die psychophysische Thätigkeit und der äussere Sinnesreiz nur die beiden äussersten Glieder einer Kette sich gegenseitig bedingender Vorgänge sind, deren mittlere Glieder die Sinnesnervenerregung und die kurz als Zwischenvorgang zu bezeichnende Erregung etwaiger, die Einwirkung des äusseren Reizes auf den Sinnesnerven vermittelnder Zwischenorgane sind. Es erscheinen daher, wie leicht zu erkennen, von vorn herein 3 verschiedene Modificationen der physiologischen Auffassung des Weber'schen Gesetzes möglich, je nachdem man das innerhalb gewisser Grenzen annähernd logarithmische Abhängigkeitsverhältniss zwischen psychophysischer Thätigkeit und Sinnesnervenerregung oder zwischen letzterer und dem etwaigen Zwischenvorgange oder endlich zwischen diesem und dem äusseren Reize stattfinden lässt. Wir setzen jedoch im Folgenden zunächst überall voraus, dass die psychophysische Thätigkeit der Erregung des Sinnesnerven genau proportional gehe und ziehen Kürze halber überall nur das durch die centrale psychophysische Thätigkeit vermittelte Abhängigkeitsverhältniss zwischen der Empfindung und der Sinnesnervenerregung in Betracht. Als physiologische Auffassung schlechthin bezeichnen wir daher im Folgenden immer diejenige Ansicht, nach welcher das Weber'sche Gesetz darin begründet ist, dass die Intensität der Sinnesnervenerregung dem Logarithmus der äusseren Reizstärke annähernd proportional geht, mag nun dieses Abhängigkeitsverhältniss in der Weise zu Stande kommen, dass der Zwischenvorgang annähernd wie der Logarithmus des äusseren Reizes oder die Erregung des Sinnesnerven annähernd wie der Logarithmus der Intensität des etwaigen Zwischenvorganges wächst.

Wir versuchen nun in den 8 folgenden Capiteln dieses Abschnittes zu zeigen, dass das zuweilen selbst mit dem Gravitationsgesetze in eine Linie gestellte psychophysische Gesetz Fechner's nur eine sehr wenig wahrscheinliche und vor Allem eine weniger wahrscheinliche Deutung des Weber'schen Gesetzes ist als die physiologische Auffassung. Im 2. bis 5. Capitel werden wir zunächst einige Gründe zu untersuchen haben, welche Fechner für seine psychophysische Auffassung gegen die physiologische Deutung des Weber'schen Gesetzes anführt. Die diesen Er-

örterungen zu gebende Ausführlichkeit werden wir nicht sowohl nach dem äusserst geringen Gewichte, welches wir selbst glauben, jenen von Fechner vorgebrachten Einwänden gegen die physiologische Auffassung beilegen zu dürfen, als vielmehr darnach bemessen, dass die letzteren eben zur Stütze eines Gesetzes von der Tragweite des psychophysischen Gesetzes dienen sollen und auch vielfach als Stützen dieses Gesetzes anerkannt worden sind. Im 6. Capitel werden wir die in dieser Schrift nothwendig zu unternehmende Untersuchung darüber anstellen, ob unsere jetzigen physiologischen Kenntnisse bereits einige Aufklärung über das Verhältniss geben, in welchem die Intensität des specifisch so zu nennenden, für die eintretende Empfindung maassgebenden Nervenprocesses zur Stärke des äusseren Sinnesreizes steht. Im 7. Capitel werden wir zu zeigen versuchen, dass sich aus der Gültigkeit des Weber'schen Gesetzes für den Muskelsinn ein Einwand gegen die physiologische Auffassung nicht ableiten lässt. In dem darauf folgenden Capitel werden wir darthun, dass die physiologische Auffassung des Weber'schen Gesetzes allein eine plausible Erklärung der an und für sich sehr auffallenden Proportionalität des Präcisionsmaasses und der absoluten Unterschiedsempfindlichkeit zu bieten vermag. Im 9. Capitel endlich wird gezeigt werden, dass sich die psychophysische Deutung des Weber'schen Gesetzes vom metaphysischen Standpunkte aus betrachtet oder durch ihre psychologischen Consequenzen vor der physiologischen Auffassung durchaus nicht empfiehlt, und zum Schluss ein kurzer Rückblick auf die Ergebnisse der ersten 9 Capitel dieses Abschnittes geworfen werden.

2. Capitel.

Die Denbarkeit eines annähernd logarithmischen Abhängigkeitsverhältnisses zwischen 2 physischen Vorgängen;
Erörterung der sogenannten Thatsache der Reizschwelle.

§ 87.

Die Gesichtspunkte, welche Fechner zur Rechtfertigung seiner Deutung des Weber'schen Gesetzes vorbringt, finden sich nament-

lich in dem 38. Capitel der „Elemente der Psychophysik“ und in Fechner's Abhandlung „über die Frage des psychophysischen Grundgesetzes mit Rücksicht auf Aubert's Versuche“ angeführt. Am ersteren Orte erklärt Fechner, schon ein allgemeiner Gesichtspunkt sei hinreichend, die Entscheidung zu Gunsten seiner psychophysischen Deutung des Weber'schen Gesetzes gegen die physiologische Auffassung fallen zu lassen. Nach der wesentlichen Verschiedenheit zwischen physischem und psychischem Gebiete sei nämlich eine Abhängigkeit zwischen psychischer und physischer Thätigkeit im Sinne der Fundamentalformel und Maassformel sehr wohl denkbar, wogegen eine solche Abhängigkeit zwischen zwei körperlichen Thätigkeiten, wie sie einerseits durch die Reizwirkung, andererseits durch die psychophysische Thätigkeit repräsentirt werde, im Sinne der physikalischen und physiologischen Gesetze nicht denkbar sei. — Inwiefern nicht denkbar? Seit wann und wie ist denn festgestellt, was für functionelle Verhältnisse überhaupt zwischen 2 physischen Vorgängen stattfinden können? Fechner selbst macht weiterhin das Zugeständniss, der Reiz löse allerdings die organischen Thätigkeiten nicht nach dem Principe des Stosses aus, und die Art und Weise, wie er solche auslöse, sei zur Zeit noch nicht hinreichend bekannt; darum sei auch die Voraussetzung der Proportionalität zwischen Reiz und psychophysischer Thätigkeit keine ganz nothwendige Voraussetzung. Dieses Zugeständniss war wohl auch unumgänglich nothwendig. Denn wenn es sich um Einwirkung eines Reizes auf derartige complicirte Gebilde, wie die Sinnes- und Nervenorgane sind, handelt, so sind offenbar die verschiedensten und verwickeltsten Verhältnisse zwischen der Reizstärke und der Erregung der von dem Reize getroffenen Gebilde denkbar. Bestehen denn etwa sonst in der unorganischen, geschweige denn in der organischen Natur überall die einfachsten Verhältnisse zwischen den von einander abhängigen physischen Processen? Auch fehlt es uns in der Naturwissenschaft durchaus nicht an logarithmischen Abhängigkeitsverhältnissen. Bekannt ist vor Allem, dass, wenn es gilt, aus der Verschiedenheit der Barometerstände B und b die Höhendifferenz zu berechnen, diese letztere gleich $C \log \frac{B}{b}$ ist, wo C eine von verschiedenen Umständen abhängige Constante ist. Diese Formel erinnert an die Fechner'sche Unterschiedsformel; rechnet man die Höhen von einem bestimmten

Punkte aus, für welchen der Barometerstand $B = b$ ist, so kann man diese Formel auch als ein Analogon der Maassformel betrachten. In ähnlicher Weise lassen sich auch aus dem schon von Bouguer aufgestellten Satze, dass die durch einen durchsichtigen Körper hindurchdringende Lichtmenge in einer geometrischen Reihe abnimmt, wenn die Dicke des Körpers in arithmetischer Progression anwächst, und aus vielen anderen bekannten Sätzen dieser Art leicht gewisse logarithmische Abhängigkeitsverhältnisse ableiten. Allerdings besagen diese Sätze nicht, dass ein physischer Vorgang wie der Logarithmus eines anderen, ihn bedingenden physischen Vorganges zunehme oder abnehme — denn eine Höhe, die Dicke eines durchsichtigen Körpers u. dergl. m. kann man doch nicht als physische Vorgänge bezeichnen —; allein alle jene Sätze scheinen uns, auch wenn die aus ihnen ableitbaren Formeln nicht einmal betreffs des Vorzeichens der darin vorkommenden Constanten mit der Maassformel übereinstimmen, doch hinlänglich darzuthun — wenn dies überhaupt erst noch darzuthun wäre —, dass eine logarithmische Formel nicht etwas so Absonderliches enthält, dass derselben gleich von vorn herein bloss wegen ihrer Absonderlichkeit die Gültigkeit für die Abhängigkeit gewisser physischer Vorgänge von einander abzusprechen sei. Ebenso wie wir, wenn sich die, wenigstens früher aufgestellte, Behauptung, dass die Spiralen gewisser Conchylien logarithmische Spiralen seien, genau bestätigen sollte, hinter diesem logarithmischen Bildungsgesetze mehr als eine interessante Complication physischer Kräfte und Gebilde, etwa ein Grundgesetz der nun verschollenen „plastischen Kraft“ des Psychischen, keineswegs vermuthen würden, so finden wir auch in der Fundamentalformel nichts, was deren physiologische Begründung gleich von vorn herein ausschliesse. Und sollte sich auch sonst nirgends eine der Fundamentalformel ganz entsprechende Formel für die Abhängigkeit zweier physischer Vorgänge von einander als gültig erweisen, so würde man unseres Erachtens, ganz abgesehen davon, dass man doch sonst nicht lediglich daraus, dass eine Formel in anderen Gebieten der Forschung keine Anwendung findet, auf Ungültigkeit derselben für ein bestimmtes Gebiet zu schliessen pflegt, auch dessen eingedenk sein müssen, dass die Vorgänge, welche uns die Wahrnehmung der Aussenwelt vermitteln, eben wegen dieser ihrer Verrichtung leicht gewissen Gesetzen und Complicationen unter-

worfen sein können, die wir anderwärts nicht ganz so wiederzufinden vermögen.

Wir wollen ferner einmal zugeben, dass unwahrscheinlicher als strenge Gültigkeit eines Gesetzes der Proportionalität, der Fall sei, dass für die Abhängigkeit der Sinnesnervenerregung von der Reizstärke eine logarithmische Formel strenge Gültigkeit besitze. Allein so ganz umsonst und ohne Zweck haben wir uns im vorigen Abschnitte nicht bemüht, den Grad der Gültigkeit festzustellen, den man nach den bisherigen Untersuchungen dem Weber'schen Gesetze und in Folge dessen auch der Fundamental- und der Maassformel beizulegen hat. Wir haben gesehen, dass eine einigermaassen strenge Gültigkeit des Weber'schen Gesetzes bisher in keinem Sinnesgebiete erwiesen ist, dasselbe vielmehr nur innerhalb gewisser mittlerer Grenzen mit Annäherung gültig erscheint. Sollte daher wirklich die Annahme, dass die Nervenregung genau wie der Logarithmus der Reizstärke wachse, etwas ganz Unwahrscheinliches haben, so kann dieser Umstand hier, wo es sich um Deutung des Weber'schen Gesetzes handelt, gar nicht in Betracht kommen, weil eben das Weber'sche Gesetz nur mit mässiger Approximation gilt und bei dem besten Willen durchaus nicht einzusehen ist, warum ein Gesetz gleich von vorn herein als „ganz unwahrscheinlich“ betrachtet werden müsse, welches besagt, dass, um einen constanten Zuwachs zur Erregung des Sinnesnerven zu bewirken, die Reizstärke r eine um so grössere Steigerung erfahren müsse, je grösser die Intensität des Reizes und der Erregung bereits sei, und zwar der zu dem angegebenen Zwecke erforderliche Reizzuwuchs, wahrscheinlich aus Zweckmässigkeitsgründen, innerhalb gewisser mittlerer Grenzen dem vorhandenen Reize r annähernd proportional gehe.

§ 88.

Man könnte nun vielleicht meinen, dass die in der Maassformel mit enthaltene sogenannte Thatsache der Reizschwelle, auf welche wir im Bisherigen nicht mit Rücksicht genommen haben, auf ein Abhängigkeitsverhältniss nicht zwischen physischen Vorgängen, sondern zwischen dem Reiche des Physischen und Psychischen hinweise. In der That hebt Fechner (Ueber die Frage etc. S. 11, Ps. II, S. 431) es als einen Vorzug seiner

Erklärungsweise des Weber'schen Gesetzes hervor, dass sie den Schwellenwerth der Empfindung, der nach den Thatfachen wirklich bestehe, als einfache Folgerung mit ergebe, und bezeichnet sogar eine physiologische Deutung der Reizschwelle schlechthin als unhaltbar. In Hinblick hierauf untersuchen wir zunächst, ob denn wirklich die sogenannte Thatfache der Reizschwelle als eine in Wahrheit constatirte Thatfache zu betrachten sei.

Betreffs des Gesichtssinnes giebt Fechner (Ps. I, S. 240 ff., 254 ff.) zu, dass sich hier wegen der fortwährenden subjectiven Reizung des Sinnesorganes der Nachweis der Existenz der Reizschwelle nicht führen lasse, vielmehr nur die sogenannte Unterschiedsschwelle nachweisbar sei. Dagegen glaubt er aus den übrigen Sinnesgebieten Thatfachen anführen zu können, aus denen sich das Dasein der Reizschwelle unzweifelhaft ergebe. „Eine Raupe im Walde hört man nicht fressen, wenn aber allgemeiner Raupenfrass im Walde ist, hört man es sehr wohl. In homöopathischer Verdünnung schmeckt man auch die bitterste Substanz nicht mehr. Es reicht hin, die Auflösung zu concentriren, und der Geschmack wird merklich“, u. dergl. m. Gegenüber derartigen Anführungen macht nun Aubert (a. a. O. S. 42 f.) geltend, dass möglicher Weise ebenso wie für den Gesichtssinn auch für die übrigen Sinne eine beständige subjective Thätigkeit existire, mithin nur die Unterschiedsschwelle, nicht aber auch die Reizschwelle mit Sicherheit constatirt werden könne. „Geruch und Geschmack“, bemerkt Aubert, „sind zu wenig ausgebildete Sinne, als dass sie bei einer Entscheidung über derartige Fragen in Betracht gezogen werden könnten. Ob wir ununterbrochen subjective Gehörsempfindungen haben, scheint mir, da es kaum möglich sein dürfte, alles objective Hören auszuschliessen, vorerst nicht entscheidbar. Wir athmen immer hörbar, das Herz schlägt hörbar, die Kleider machen Lärm u. s. w. Wir sind also beim Gehörssinne gar nicht einmal im Stande, bis zur Kenntniss seiner subjectiven Empfindungen vorzudringen, was doch beim Lichtsinne durch Abschluss allen objectiven Lichtes möglich ist. Wenn man daher einen schwächsten Ton noch als Grenze des Hörbaren (Schafhäutl) bestimmt, so muss er verschiedene objective Geräusche übertönen, vielleicht auch subjective Empfindungen erhöhen oder unterdrücken, kann also nicht als Repräsentant einer wirklichen Reizschwelle angesehen werden. Ebenso können wir uns unsern Tastsinn ohne objectiven Reiz in

irgend einem Theile seines Gebietes gar nicht denken: unter einem Drucke steht unsere Haut immer, und einzelne Theile derselben müssen nothwendig immer eine Druckempfindung vermitteln, auf die wir allerdings unsere Aufmerksamkeit nicht zu richten brauchen, die aber trotzdem vorhanden sein muss.“ Mit grösserer Bestimmtheit als Aubert behaupten Delboeuf (a. a. O. S. 28) und Preyer (Physiol. Abhandl., 1. Heft, S. 65 ff.) die Existenz einer fortwährenden subjectiven Reizung jedes Sinnesorganes. Wenn wir auch diese Behauptung für eine noch nicht sicher erwiesene halten, so müssen wir es doch mit Aubert und Preyer für sehr zweifelhaft erklären, ob es je möglich sei, bei Untersuchungen, welche auf Constatirung der Reizschwelle des Gehörsinnes gerichtet sind, alle objectiven und subjectiven Gehörsreize, z. B. die Geräusche, welche unsere Muskelbewegungen, vor Allem auch das Athemholen, mit sich führen, das Knistern der Kleidungsstücke, des Fussbodens, worauf wir stehen, u. dergl. m. auch nur auf kurze Zeit ganz auszuschliessen. Betreffs des Druck- und Temperatursinnes finden wir, dass wir, sobald wir unsere Aufmerksamkeit auf eine beliebige, von einem Kleidungsstücke nicht bedeckte Stelle unserer Körperoberfläche richten, immer eine Druck- oder Temperaturempfindung haben*), welche entweder von dem durch die Bewegung des Blutes auf die Haut ausgeübten Drucke oder von den über beträchtliche Strecken unserer Körperoberfläche gewissermaassen irradiirenden Wirkungen herrühren, welche die zur Erhaltung des Gleichgewichtes und der angenommenen Haltung erforderlichen Formveränderungen der Muskeln, die Bewegungen des Herzens, die Hebungen und Senkungen der Brust beim Athemholen, der beim Stehen auf die Füsse, beim Sitzen auch auf andere Körpertheile ausgeübte, mit gelinden Dehnungen und Verschiebungen der Haut verbundene Druck und viele andere Vorgänge dieser Art ausüben. Allerdings scheint uns die eintretende Empfindung nicht allemal genau derjenigen Körperstelle anzugehören, auf welche wir unsere Aufmerksamkeit zu richten glauben; vielmehr scheinen sich uns in solchen Fällen oft Empfindungen aufzudrängen, die solchen Gegenden der Hautoberfläche zugehören, welche der durch die Aufmerksamkeit bevorzugten Hautstelle nur benachbart sind. Doch lässt sich hiernach immer noch vermuthen, dass jeder Haut-

*) Ganz Aehnliches berichtet Pfüger in seinem Archiv, XV. S. 89 f.

reiz, um von uns bemerkt zu werden, deswegen einen gewissen Schwellenwerth übersteigen müsse, weil er entweder nur ein Zuwuchs zu einer vorhandenen subjectiven Reizung sei, oder nur bei gewisser Stärke im Stande sei, die Concurrenz anderer, der Aufmerksamkeit sich gleichzeitig aufdrängender Reize benachbarter oder entfernterer Hautstellen zu überwinden. Aehnliches wie vom Druck- und Temperatursinne gilt unseres Erachtens auch vom Geruchs- und Geschmackssinne. Betreffs letzteren Sinnes macht Preyer nicht mit Unrecht darauf aufmerksam, dass die Mundflüssigkeit Chlornatrium, kohlensaures Alkali und andere schmeckbare Stoffe in Lösung enthalte.

§ 89.

Das Vorstehende sollte nur kurz andeuten, dass die Frage nach der Existenz der Reizschwelle eine ziemlich heikle ist und schon aus diesem Grunde einem auf die Reizschwelle gegründeten Einwande gegen die physiologische Deutung des Weber'schen Gesetzes wenig Gewicht beizulegen ist. Indessen sehen wir im Folgenden ganz hiervon ab und versuchen zu zeigen, dass, auch wenn die Reizschwelle zu den bestconstatirten Thatsachen der Theorie der Sinneswahrnehmung gehörte, dennoch auf dieselbe nicht im Mindesten ein triftiger Einwand gegen jene physiologische Ansicht gestützt werden könnte. Da eine directe, experimentelle Entscheidung darüber, ob die Erregung eines Sinnesnerven erst bei einem gewissen Schwellenwerthe des Reizes eintrete, nicht vorliegt, so sind wir auf theoretische Erwägungen dieser Frage angewiesen. Es unterliegt kaum noch einem Zweifel, dass die Wirkung der Lichtstrahlen auf die Netzhaut eine photochemische ist. Unseres Erachtens würde es nun nichts weniger als auffallend sein, wenn sich herausstellte, dass diese photochemische Wirkung erst bei einer gewissen Intensität der Lichtstrahlen eintritt. Die chemische Wirkung des Lichtes, mag sie zersetzend oder verbindend oder gleichzeitig in beiderlei Weise sich äussern, ist, abgesehen von noch anderen Umständen, z. B. der Wellenlänge des Lichtes, stets abhängig von den sogenannten Intensitäten der Affinitäten, welche die betreffenden chemischen Körper zu einander besitzen. Unterhalb eines gewissen durch diese Affinitäten bestimmten Intensitätswerthes vermag eine Lichtwirkung durch die von ihr angeregten Bewegungen kleinster

Theilchen der bestrahlten Körper keine chemische Wirkung zu äussern, während sie oberhalb desselben eine ihrer Intensität entsprechende Wirkung solcher Art hat. Es liegt nun durchaus kein Zwang zu der Annahme vor, dass in den der Einwirkung der Lichtstrahlen ausgesetzten Endapparaten der Netzhaut im Allgemeinen gerade ein solcher Gleichgewichtszustand aller auf Trennung oder Verbindung gewisser chemischer Bestandtheile hinwirkenden Kräfte bestehe, dass schon eine Lichteinwirkung ganz minimaler Intensität genüge, einen Theil jener Spannkkräfte in die lebendige Kraft photochemischer Prozesse umzusetzen. Wenn wir aber wirklich für den inneren Molekularzustand jener Endorgane nicht gerade jenen Grenzfall anzunehmen haben, wo eine Lichteinwirkung minimaler Intensität genügt, chemische Veränderungen hervorzurufen, so bleibt der Vermuthung voller Raum, dass das auf die Netzhaut wirkende Licht einen für Lichtstrahlen verschiedener Wellenlänge vielleicht verschiedenen Schwellenwerth der Intensität übersteigen müsse, wenn es, sei es in gewissen Zwischenorganen, sei es in Theilen, welche als blosser Verlängerungen der Sehnervenfasern anzusehen sind, eine entweder die Erregung des Sehnerven vermittelnde oder mit derselben identische chemische Wirkung haben solle. Durch ausgedehnte Darlegungen dieser Art liesse sich leicht für sämtliche Sinnesgebiete die Möglichkeit einer physiologischen Begründung der Reizschwelle darthun, was der Behauptung Fechner's gegenüber, dass die Ableitbarkeit der Reizschwelle aus dem psychophysischen Gesetze als ein Vorzug der psychophysischen Deutung des Weber'schen Gesetzes zu betrachten sei, nicht ganz unwichtig erscheint. Die Möglichkeit einer physiologischen Begründung der Reizschwelle wird übrigens auch durch solche Thatsachen, wie die ist, dass bei sehr geringen Reizen eines motorischen Nerven keine Contraction des zugehörigen Muskels eintritt, mithin ein Schwellenwerth des Reizes in Beziehung auf die Muskelcontraction existirt, bereits hinlänglich dargethan.

Im Bisherigen haben wir gesehen, dass die physiologische Auffassung den Grund der Reizschwelle sehr wohl in der Art und Weise würde suchen können, auf welche der äussere Reiz eine Erregung des Sinnesnerven hervorzurufen vermag. Aber ausserdem würde jener Ansicht zur Erklärung der Reizschwelle noch die Annahme zu Gebote stehen, dass jede an der peripherischen Endigung des Sinnesnerven durch einen äusseren Reiz

hervorgerufene Erregung einen gewissen Schwellenwerth übersteigen müsse, um bis zu den unsere Empfindungen unmittelbar vermittelnden Theilen des Centralorganes, kurz bis zu dem Sensorium, fortgepflanzt zu werden. Nehmen wir an, es sei das periphere Theilchen dn_1 des Sinnesnerven durch einen äusseren Reiz in eine geringe Erregung versetzt, so fragt es sich, ob die Erregung dieses Theilchens eine mindestens gleiche Erregung des centralwärts angrenzenden Nervelements dn_2 zu Folge habe oder nicht. Ist das Letztere der Fall, ist die Erregung von dn_2 geringer als diejenige von dn_1 und dem entsprechend die Erregung von dn_3 weniger intensiv als diejenige von dn_2 u. s. f., so dürfte offenbar nicht jeder Sinnesreiz und nicht jede am peripherischen Ende des Sinnesnerven entstandene Erregung genügen, um den letzteren in seiner ganzen Ausdehnung in Erregung zu versetzen, vielmehr muss die Erregung des peripherischen Nervenendes zu diesem Zwecke einen gewissen Schwellenwerth überschreiten, der, allgemein gesprochen, von den Widerständen abhängt, die der Fortpflanzung des Erregungszustandes innerhalb der Sinnesnervenfasern entgegenstehen. Das physiologische Experiment könnte entscheiden, ob ein solcher Schwellenwerth angenommen werden muss oder nicht. Seine Annahme ist nothwendig, wenn die Intensität der Erregung des Sinnesnerven bei ihrer Weiterverbreitung in demselben abnimmt, nicht erlaubt hingegen, wenn die Erregung bei ihrer Fortpflanzung innerhalb des Sinnesnerven die gleiche bleibt oder sogar anwächst. Leider gestatten die bisherigen, in ihren Resultaten sich widersprechenden Experimentaluntersuchungen von Pflüger, Rosenthal, Fleischl u. A. kein sicheres Urtheil hierüber. Sollte sich die vermittelnde Annahme J. Bernstein's (a. a. O. S. 151 ff.), dass die Erregung bei ihrer Fortpflanzung im Nerven gleich intensiv bleibe, künftighin bestätigen, so würde jener Schwellenwerth der Erregung des peripherischen Nervenendes nicht angenommen werden dürfen. Aber wenn auch alsdann die Art der Fortpflanzung der Erregung innerhalb der Längsfasern des Sinnesnerven zur Erklärung der Reizschwelle nicht heranzuziehen sein würde, so würde doch ausser dem Obigen immer noch in Betracht zu ziehen sein, dass die Sinnesnerven-erregung innerhalb des Centralorganes bei ihrer Fortpflanzung durch Ganglienzellen hindurch sich höchst wahrscheinlich mit allmählich abnehmender Intensität weiter verbreitet. Die Thatsache, dass die Anzahl

der in Reflexbewegung gerathenden Muskeln von der Intensität des Reizes abhängt, der den Reflex zu Folge hat, lässt sich schwerlich anders erklären als mit Hilfe der Annahme, dass sich die Nervenerrregung in den Nervencentren mit abnehmender Intensität weiter verbreite. In gleicher Weise wird J. Bernstein (a. a. O. S. 171) durch die Thatsache, dass nur die starken Eindrücke Irradiation der Empfindung hervorrufen und nicht auch die schwachen, und dass die Irradiation, wenn sie eintritt, sich nicht jedesmal über das ganze sensible Centrum erstreckt, sondern nur einen Theil desselben einnimmt, zu der Annahme geführt, dass die Erregung in den Ganglienzellen einen Widerstand zu überwinden habe und dadurch einen Verlust ihrer Intensität erleide. Auch Wundt kommt zu ähnlichen Folgerungen; so äussert er (Ph. Ps., S. 264), dass die Ganglienzelle zunächst jede in ihr anlangende Reizung hemme, und schwächere Reizungen durch diese Hemmung ganz unterdrückt werden könnten. Ist es nun an dem, dass sich die Nervenerrregungen in den Ganglienzellen*) mit abnehmender Intensität weiter verbreiten, und dass schwächere Reizungen durch die in jenen Organen eintretende Hemmung ganz unterdrückt werden können, so muss zweifelsohne jede Erregung eines Sinnesnerven, um eine entsprechende psychophysische Thätigkeit im Centralorgane hervorrufen zu können, einen gewissen Schwellenwerth überschreiten und mithin auch die Intensität jedes Sinnesreizes, um eine zur Auslösung einer Empfindung hinreichende Sinnesnervenerrregung zu bewirken, eine gewisse, von jenem Schwellenwerthe der Nervenerrregung abhängige Grösse ϱ übersteigen. Anstatt also über die Thatsache der Reizschwelle erstaunt zu sein und sie nur durch eine Beziehung auf das die Wechselwirkung zwischen Physischem und Psychischem beherrschende Gesetz erklärbar zu finden, hätten wir bei der Anschauung, welche die bisherigen Erfahrungen betreffs der Functionsweise der nervösen Organe uns nahe legen, weit eher Grund, verwundert zu sein, wenn die Thatsache der Reizschwelle nachweislich nicht bestände, es sei denn, dass, wie Delbœuf und Preyer vermuthen, in allen Sinnesgebieten eine beständige subjective Erregung existire und bewirke, dass selbst

*) Bemerkenswerth ist, dass nach den neueren Forschungen in allen Sinnesnerven kurz vor ihrer peripherischen Endigung Ganglienzellen eingeschaltet zu sein scheinen.

bei Einwirkung minimaler Reize immer eine wenn auch nur schwache Empfindung vorhanden ist.

§ 90.

Obwohl Fechner die Ableitbarkeit der Reizschwelle aus dem psychophysischen Gesetze für einen Vorzug seiner Deutung des Weber'schen Gesetzes erklärt, so ist es ihm doch natürlich nicht ganz entgangen, dass die Reizschwelle an und für sich betrachtet auf physiologischem Wege erklärt werden kann. „Aber diese Deutung“ (nämlich die physiologische Deutung der Reizschwelle), äussert er weiterhin (Ps. II, S. 431), „wird schon dadurch unhaltbar, dass sie nicht auf die Unterschiedsschwelle übertragbar ist, und unstreitig muss dasselbe Erklärungsprincip für beide Schwellen ausreichen. Wenn ich von den Sternen im Tageslichte absolut nichts erkenne, auf einer rasch gedrehten Scheibe mit weissen und schwarzen Sektoren absolut keine Ungleichförmigkeit entdecken kann, so kann ich weder sagen, es sei kein psychophysischer Eindruck gemacht, noch, es sei kein verschiedener Eindruck gemacht, da grössere spürbare Verschiedenheiten nur durch Summation solcher kleinen nicht spürbaren zu Stande kommen können. Also bleibt nichts übrig, als anzunehmen, dass ein wirklicher Unterschied psychophysischer Eindrücke doch nicht als Unterschied aufgefasst werden kann, unbewusst bleibt, wenn er nicht eine gewisse Grösse übersteigt; ist dies aber von Unterschieden zuzugestehen, so wird es nach dem Zusammenhange der Thatsachen der Reiz- und Unterschiedsschwelle auch für absolute Grössen zuzugestehen sein.“ Um etwaige Missverständnisse zu verhüten, ist zunächst zu bemerken, dass, wenn Fechner hier äussert, man müsse annehmen, dass ein wirklicher Unterschied psychophysischer Eindrücke, welcher nicht eine gewisse Grösse übersteige, unbewusst bleibe, er hiermit nicht sagen will, dass in dem angegebenen Falle dem Unterschiede zweier psychophysischer Thätigkeiten ein Unterschied der zugehörigen Empfindungen nicht entspreche, sondern nur, dass der Empfindungsunterschied als solcher nicht von uns aufgefasst und erkannt werde und die beiden Empfindungen verschiedener Intensität uns vollkommen gleich erscheinen. Dies erhellt hinlänglich aus den Auseinandersetzungen des 22. Capitels der „Elemente der Psychophysik“, wo Fechner die Unterscheidung zwischen Empfindungs-

unterschieden und empfundenen Unterschieden oder Empfindungen von Unterschieden macht. Wir sind weit entfernt davon, die Berechtigung dieser Unterscheidung anzuzweifeln; im Gegentheile, weil wir uns dessen recht bewusst sind, dass die Wahrnehmung von Empfindungsunterschieden ein höherer Act des Bewusstseins ist als das blossе Empfinden verschiedener Reize, will es uns sehr zweifelhaft erscheinen, ob man aus der sogenannten Unterschiedsschwelle irgend welche Schlüsse betreffs der Reizschwelle ziehen könne. Denn wenn wirklich, wie auch Fechner selbst äussert (Ps. II, S. 86), die Wahrnehmung von Empfindungsunterschieden auf einem höheren Bewusstseinsacte als die blossе Empfindung beruht, so kann man doch daraus, dass dieser höhere Bewusstseinsact erst bei einem gewissen Schwellenwerthe des Verhältnisses der beiden zu vergleichenden Reizintensitäten eintritt, und dass diese Schwelle keineswegs rein physiologisch begründet sein kann, nicht darauf schliessen, dass die Reizschwelle ebenfalls in psychologischen oder psychophysischen, nicht aber in physiologischen Verhältnissen ihren Grund habe. Ferner besagt die sogenannte Unterschiedsschwelle, dass der Unterschied zweier Empfindungsintensitäten, um von uns bemerkt zu werden, immer eine bestimmte Grösse übersteigen müsse; die Thatsache der Reizschwelle hingegen bezieht sich nicht auf Unterschiede von Empfindungen oder Reizen, sondern auf die ganzen Werthe der letzteren, die nach ihr eine bestimmte Intensität besitzen müssen, nicht um die Wahrnehmung eines Empfindungsunterschiedes, sondern um überhaupt erst eine Empfindung zu bewirken. Man sollte meinen, die totale Verschiedenheit der beiden in Rede stehenden Schwellen wäre einleuchtend. Wer würde es billigen, wenn wir in folgender Weise argumentiren wollten. „Erst bei einem hohen Grade der Lichtreizung tritt in Folge von Blendung ein kurz als Schmerzgefühl der Blendung zu bezeichnendes, unangenehmes Gefühl ein. Wir können also von einem Schwellenwerthe der Lichtreizung in Beziehung auf das Eintreten des Schmerzgefühles der Blendung sprechen. Diese Schwelle ist höchst wahrscheinlich physiologisch begründet, indem in Folge physiologischer Verhältnisse bei Lichtreizen geringer und mässiger Stärke jener Nervenprocess oder jene Modification eines solchen Processes nicht eintritt, welche dem angeführten Schmerzgefühle zu Grunde liegt. Kurz, es giebt in Beziehung auf das Gefühl der Licht-

blendung, desgleichen der Quetschung u. dergl. m. eine je nach Umständen variable Reizschwelle; diese Schwelle ist physiologisch begründet; folglich gründet sich auch die auf die Erweckung von Empfindungen bezügliche, gewöhnliche Reizschwelle nur auf rein physiologische Verhältnisse.“ Das Letztere wird allerdings wohl der Fall sein, wenn überhaupt eine Reizschwelle existirt; aber wir schliessen dies nicht auf die soeben angegebene Weise, obwohl ein solches Schlussverfahren immerhin noch eher triftig sein würde als Fechner's Verfahren, die Begründung der Unterschiedsschwelle bei Deutung der Reizschwelle als maassgebend zu betrachten; denn die gewöhnliche Reizschwelle steht der dem Schmerzgefühle der Blendung, Quetschung u. dergl. zugehörigen Schwelle insofern näher als der Unterschiedsschwelle, als diese, wie bereits geltend gemacht, sich nicht einmal, wie jene anderen Schwellen, auf einen absoluten Reizwerth, sondern auf das Verhältniss zweier Reize bezieht. In ähnlicher Weise könnten wir noch mannigfaltige Schwellen aus dem Gebiete der Psychologie, Psychophysik und Physiologie anführen, Schwellen in Bezug auf Erweckung von Lustgefühlen, auf Hervorrufung von sogenannten Reflexempfindungen, auf Erregung unseres Zornes, unserer Bewunderung u. dergl. m., und immer würde es fehlerhaft sein, wollten wir aus der Art der Begründung der einen dieser Schwellen ohne nähere Motivirung die Art der Begründung einer anderen erschliessen. Wer übrigens die grosse Verschiedenheit dessen, worum es sich bei der Unterschiedsschwelle und bei der Reizschwelle handelt, erkennt, müsste unseres Erachtens von der Idee eines näheren Zusammenhanges beider Schwellen schon allein durch Erwägung dessen abgebracht werden, dass z. B. die Unterschiedsschwelle von der Zeit abhängig ist, die zwischen den beiden zur Vergleichung kommenden Empfindungen verstreicht, für die Reizschwelle aber keine dem entsprechende Abhängigkeit besteht u. dergl. m.

Wenn sich also Fechner zu Gunsten seiner psychophysischen Auffassung des Weber'schen Gesetzes auf die Reizschwelle beruft und deren Zusammenhang mit der Unterschiedsschwelle hervorhebt, so können wir nach dem Bisherigen kurz erwidern, dass die Reizschwelle nicht einmal eine sicher constatirte, über allen Zweifel erhabene Thatsache ist, dass dieselbe, wenn sie wirklich existirt, vom Standpunkte der physiologischen Auffassung aus mindestens auf doppelte Weise ohne die geringste Schwierigkeit

erklärt werden kann und ein Zusammenhang der Reizschwelle und der Unterschiedsschwelle, welcher eine physiologische Deutung ersterer verböte, nicht im Geringsten besteht. Noch bleibt uns übrig, darauf einzugehen, dass Fechner (Ps. II, S. 432 ff.) geltend macht, die Annahme einer psychophysischen Begründung der Reizschwelle sei zur Erklärung gewisser Erscheinungen der sinnlichen Aufmerksamkeit und anderer ähnlicher Thatsachen nothwendig. Die Triftigkeit dieser Behauptung werden wir erst im 9. Capitel dieses Abschnittes untersuchen und hoffen dort den Nachweis zu vollenden, dass die sogenannte Thatsache der Reizschwelle nicht im Mindesten als eine Bestätigung des psychophysischen Gesetzes anzusehen ist und diese wirkliche oder vermeintliche Thatsache die Frage nach der Bedeutung des Weber'schen Gesetzes überhaupt nach keiner Richtung hin aufzuklären vermag.

3. Capitel.

Die Abhängigkeit der Unterschiedsempfindlichkeit von der Reizqualität.

§ 91.

Im vorigen Capitel haben wir, so wie man sich eben mit dergleichen näher nicht motivirten Behauptungen beschäftigen kann, den Einwand abgehandelt, dass ein der Erregungsmaassformel entsprechendes Abhängigkeitsverhältniss zwischen zwei physischen Vorgängen nicht wohl denkbar sei. Mit diesem Einwande gegen die physiologische Auffassung des Weber'schen Gesetzes pflegt man die Voraussetzung zu verbinden, dass (vergl. Fechner, Ps. II, S. 429, Fick, a. a. O. S. 349, u. A. m.) die psychophysische Auffassung dieses Gesetzes betreffs des zwischen Reiz und Sinnesnervenerregung bestehenden Abhängigkeitsverhältnisses die einfachste und natürlichste Annahme zu machen habe, die im Sinne der physikalischen und physiologischen Gesetze möglich sei, nämlich die Annahme, dass die Zuwüchse der im Sinnesnerven durch den Reiz angeregten Thätigkeiten den Zuwüchsen des Reizes proportional gingen, so lange das Organ nicht leide. Allein die psychophysische Auffassung darf offenbar

nur dann genaue Proportionalität zwischen der Reizstärke und der Erregungsintensität annehmen, wenn das Weber'sche Gesetz strenge Gültigkeit besitzt. Dies ist aber, wie wir im zweiten Abschnitte dieser Schrift gesehen haben, durchaus nicht der Fall. Es erscheint daher etwas zweifelhaft, ob die psychophysische Auffassung gar so sehr darauf pochen dürfe, dass sie betreffs der Abhängigkeit der Sinnesnervenerregung von der Reizstärke „die einfachste und natürlichste Voraussetzung“, nämlich die der Proportionalität, machen könne. Und wir finden denn auch, dass Fechner selbst (Ueber die Frage etc., S. 10 ff.) die früher aufrecht erhaltene Annahme weit ausgedehnter, strenger Proportionalität zwischen Sinnesreiz und Nervenerregung späterhin fallen lässt und sogar erklärt, er wisse nicht, „was es auch nur wahrscheinlich erscheinen lassen könnte, dass Reiz und körperliche Thätigkeit einander in irgend welchen Grenzen genau parallel gehen, wenn ein solcher Parallelismus über eine gewisse Grenze des Reizes hinaus sogar ganz unmöglich ist und nicht einmal mehr approximativ bestehen kann, von anderer Seite sehr wohl denkbar ist, dass die körperliche Thätigkeit, so zu sagen, erst in Zug kommen muss, ehe die Zuwüchse derselben den Reizzuwüchsen ganz und approximativ proportional zu werden anfangen, dass sie bis zu gewissen Grenzen um so mehr hinter den Reizzuwüchsen zurückbleiben, je kleiner der Reiz ist.“

Nehmen wir an, um den thatsächlichen Abweichungen vom Weber'schen Gesetze gerecht zu werden, müsse man an Stelle der Maassformel die corrigirte Maassformel: $s = \kappa \log \varphi(r)$, aufstellen, so ist nach § 86 für die psychophysische Auffassung die Gleichung: $E = \varphi(r)$, diejenige Formel, welche die thatsächliche Abhängigkeit der Nervenerregung von der Reizstärke ausdrückt und eine anfänglich gegen die Abscissenaxe convexe, dann annähernd mit einer Geraden zusammenfallende und zuletzt concave Erregungscurve ergibt. Nach der physiologischen Auffassung hingegen ist $s = k'E$ und $E = k' \log \varphi(r)$, wo $k'k''$ gleich der Constanten κ der corrigirten Maassformel ist. Man kann nun fragen, welcher Art die aus der Erregungsmaassformel: $E = k' \log \varphi(r)$, entspringende Erregungscurve sei. Diese Curve ist offenbar derselben Art wie die aus der corrigirten Maassformel hervorgehende Curve der Empfindungsstärken. Berechnet man nun aus den Versuchsangaben Aubert's u. A. die absoluten Werthe der Reizzuwüchse, welche erforderlich sind, um einen constanten Em-

pfundungszuwuchs zu verschiedenen Empfindungsintensitäten zu bewirken, so findet man, dass diese Reizzuwüchse allgemein um so grösser sind, je intensiver die Empfindung ist, die um eine constante Grösse erhöht werden soll, dass also die Empfindungs- und mithin nach der physiologischen Deutung des Weber'schen Gesetzes auch die Erregungszuwüchse allgemein um so mehr hinter den Reizzuwüchsen zurückbleiben, je grösser s , E und r bereits sind. Diese durchgängige Concavität der Erregungscurve lässt sich leicht durch die Annahme erklären, dass der Sinnesreiz bei Auslösung der im Sinnesorgane angehäuften Spannkraft gewisse Widerstände und Hemmnisse zu überwinden hat, welche, wie leicht begreiflich, bei Erhöhung der Reizstärke um ein bestimmtes Quantum sich um so mehr geltend machen, je grösser die bereits vorhandene Reiz- und Erregungsintensität ist. Wenn man also die psychophysische Auffassung des Weber'schen Gesetzes dadurch zu stützen sucht, dass man die Einfachheit und Natürlichkeit des Verhältnisses hervorhebt, in welchem nach der psychophysischen Auffassung die Sinnesnervenerregung zur Reizstärke stehe, so lässt sich dagegen bemerken, dass die physiologische Auffassung wenigstens den allgemeinen Charakter der von ihr angenommenen Erregungscurve sehr leicht von einem einheitlichen Gesichtspunkte aus erklären kann, der demjenigen Gesichtspunkte ganz analog ist, den Fechner zur Erklärung der oberen Abweichungen vom Weber'schen Gesetze geltend macht, hingegen die psychophysische Auffassung zur Erklärung der beträchtlichen unteren Abweichungen vom Weber'schen Gesetze noch eines zweiten, von dem zur Erklärung der oberen Abweichungen dienenden Principe verschiedenen Erklärungsprincipes bedarf, mithin nicht allzu viel Grund vorhanden ist, auf die Einfachheit des Abhängigkeitsverhältnisses zwischen Sinnesreiz und Nervenerregung zu bauen, welches die psychophysische Auffassung anzunehmen habe, um den Thatsachen gerecht zu werden.

§ 92.

•Die psychophysische Auffassung wird aber nicht einmal durch Annahme der obigen Formel: $E = \varphi(r)$, nach welcher die Erregung wenigstens für gewisse mittlere Intensitäten der Reizstärke merklich proportional geht, den Thatsachen gerecht.

Aus den Ausführungen des zweiten Abschnittes dieser Schrift geht hervor, dass die relative Unterschiedsempfindlichkeit im Allgemeinen für die verschiedenen Sinnesgebiete und innerhalb eines und desselben Sinnesgebietes für die verschiedenen Reizqualitäten, z. B. im Gebiete des Gesichtssinnes für die verschiedenen Farben, eine zum Theil sehr verschiedene ist. Wir sahen z. B., dass bei einem und demselben Beobachter das Minimum des eben unmerklichen relativen Unterschiedes für Roth ungefähr $\frac{1}{13}$, hingegen für Indigoblau etwa $\frac{1}{267}$ betrug, und dass die relative Grösse des eben merklichen Unterschiedes im Gebiete des Gehörsinnes im Allgemeinen nicht viel geringer als $\frac{1}{3}$ sein dürfte, während dieselbe für den Gesichtssinn Werthe erreichen kann, die sehr nahe an $\frac{1}{300}$ herankommen. Dass diese Verschiedenheiten zum Theil in den Unterschieden der Verfahrungsweisen, deren man sich bei Ermittlung der Unterschiedsempfindlichkeit bedient hat, begründet seien, ist nicht in Abrede zu stellen. Aber daran ist nicht im Entferntesten zu denken, dass diese Verschiedenheiten der relativen Unterschiedsempfindlichkeit lediglich auf Unterschiede der Versuchsumstände und experimentellen Verfahrungsweisen zurückzuführen seien; sind doch z. B. die oben angeführten beiden Werthe des eben unmerklichen Unterschiedes rother und indigoblauer Helligkeiten von einem und demselben Beobachter bei ganz gleichem Versuchsverfahren gefunden worden. Wir werfen daher die weder von Fechner noch von einem anderen Vertreter des psychophysischen Gesetzes bisher erörterte Frage auf, ob, bez. wie, die psychophysische Auffassung die Abhängigkeit erklären könne, in welcher die relative Unterschiedsempfindlichkeit nachweislich zur Reizqualität steht. Bei Beantwortung dieser Frage kann man entweder von der Voraussetzung ausgehen, dass die Grösse *ds* eines Empfindungszuwuchses, der einem eben merklichen Reizzuwuchse *dr* entspreche, für die verschiedenen Empfindungsqualitäten gleich gross sei, wenn das bei Ermittlung dieses Reizzuwuchses angewandte Verfahren ein ganz vergleichbares sei; oder man kann zweitens die Annahme machen, dass ein Empfindungszuwuchs, um uns in bestimmtem Maasse merklich, z. B. eben merklich, zu sein, in verschiedenen Empfindungsgebieten eine verschiedene Grösse besitzen müsse, z. B. im Gebiete des Gehörsinnes viel grösser sein müsse als in dem des

Gesichtssinnes. Nun haben wir gesehen, dass die Fundamentalformel und Maassformel Fechner's auf der Voraussetzung beruhen, dass gleich merkbliche Intensitätszuwüchse, welche zu verschiedenen intensiven Empfindungen gleicher Qualität hinzukommen, auch gleich grosse Empfindungszuwüchse seien. Diese Voraussetzung hat bisher weder Fechner noch sonst Jemand begründet; es ist daher nur consequent, wenn man vom Standpunkte der psychophysischen Auffassung aus gleich merkbliche Empfindungszuwüchse auch dann für gleich gross hält, wenn sie zu Empfindungen verschiedener Qualität, oder wenigstens zu Empfindungen verschiedener Qualität, welche demselben Sinnesgebiete angehören, hinzukommen. Diese Consequenz liegt umso näher, da Empfindungen, wie z. B. diejenigen des Grau und Weiss, Braun und Gelb, denen wir in Hinblick auf die Gleichartigkeit der ihnen entsprechenden Sinnesreize eine gleiche Qualität zuzuschreiben pflegen, im Grunde doch auch qualitative Unterschiede zeigen. Und wir finden denn auch in der That, dass sich Wundt (Ph. Ps. S. 295) ganz unumwunden folgendermaassen äussert: „Wir können also mit absoluter Sicherheit sagen, dass, wenn sich in verschiedenen Fällen Empfindungen, wie dieselben auch qualitativ von einander abweichen mögen, um ein eben Merkliches verändert haben, sie sich in allen diesen Fällen um gleiche Grade ihrer Stärke verändert haben.“ Wir untersuchen demnach zunächst, zu welchen Annahmen die psychophysische Auffassung geführt wird, wenn sie an der allgemeinen Voraussetzung festhält, dass bei vergleichbarem Versuchsverfahren erhaltene, gleich merkbliche Empfindungszuwüchse gleich gross seien, oder wenigstens voraussetzt, dass gleich merkbliche Empfindungszuwüchse innerhalb eines und desselben Sinnesgebietes, z. B. im Gebiete des Gesichtssinnes, allgemein dieselbe Grösse besässen.

§ 93.

Zuvörderst schicken wir Folgendes voraus. Wir bezeichnen mit ω den Minimalwerth der relativen Grösse des Unterschiedsschwellenwerthes. Dieser Minimalwerth wird, wie gesehen, allgemein bei gewisser, mittlerer Reizintensität erhalten und ist für die verschiedenen Qualitäten der Gesichtsempfindungen zum Theil ein beträchtlich verschiedener. Bezeichnen wir ferner den eben merklichen Reizzuwuchs mit dr und den entsprechenden

Empfindungszuwuchs mit ds , so ist nach der corrigirten Maassformel

$$s + ds = x \log \varphi(r + dr) \quad \text{oder} \\ s + ds = x \log \varphi(r) + \frac{x\varphi'(r)dr}{\varphi(r)} + \frac{x[\varphi(r)\varphi''(r) - (\varphi'(r))^2]}{(\varphi(r))^2} \cdot \frac{dr^2}{1.2}$$

u. s. f.

Da sich in letzterer Gleichung die Glieder mit höheren Potenzen von dr wegen ihrer Kleinheit ohne merklichen Nachtheil vernachlässigen lassen und $s = x \log \varphi(r)$ ist, so erhalten wir

$$ds = \frac{x\varphi'(r)dr}{\varphi(r)}.$$

Für das Gebiet mittlerer Reizstärken, innerhalb dessen die relative Grösse des eben merklichen Reizzuwuchses ihr Minimum ω erreicht und das Weber'sche Gesetz mit der grössten Annäherung gilt, lässt sich $\varphi(r)$ ohne merklichen Fehler $= kr$ und $\varphi'(r) = k$, mithin $\frac{\varphi'(r)dr}{\varphi(r)}$ einfach $= \frac{dr}{r} = \omega$ setzen. Da nun x eine Constante und ds gleichfalls als constant zu betrachten ist, so ist offenbar auch der Werth von $\frac{\varphi'(r)dr}{\varphi(r)}$ ein constanter und allgemein $= \omega$ zu setzen.

Es sei Beispiels halber dg die Grösse des eben merklichen Intensitätszuwuchses zu einer Empfindung gelben Lichtes, di die Grösse des gleich merklichen Zuwuchses zu einer Empfindung indigoblauen Lichtes, r sei die Reizstärke des gelben, bez. indigoblauen, Lichtes und dr der dem Empfindungszuwuchse dg , bez. di , entsprechende Reizzuwuchs; ω_g , bez. ω_i , endlich möge den bei gewisser mittlerer Lichtstärke sich einstellenden Minimalwerth des eben merklichen relativen Unterschiedes gelber, bez. indigoblauer, Helligkeiten bedeuten. Alsdann lässt sich nach Obigem ohne merklichen Fehler

$$dg = \frac{x_g \varphi'(r)dr}{\varphi(r)} = x_g \omega_g \quad \text{und} \quad di = \frac{x_i \varphi'(r)dr}{\varphi(r)} = x_i \omega_i$$

setzen, wo die Beschaffenheit der durch φ angedeuteten Function für beide Lichtarten entweder ganz dieselbe oder nur wenig verschieden ist und zunächst unbestimmt gelassen ist, ob die Constanten x_g und x_i gleiche oder verschiedene Grösse besitzen.

Wird nun angenommen, dass gleich merkliche Intensitätszuwüchse, die zu Empfindungen desselben Sinnes hinzukommen,



allgemein auch gleich grosse Zuwüchse seien, also in diesem Falle $dg = di$ sei, so ergiebt sich offenbar $\kappa_g \omega_g = \kappa_i \omega_i$. Da nun aber, wie sich aus den Versuchen von Dobrowolsky u. A. hinlänglich ergiebt, die Werthe ω_g und ω_i im Allgemeinen verschieden gross sind, so müssen auch die Constanten κ_g und κ_i als verschieden gross und zwar als reciprok zu ω_g und ω_i , d. i. als proportional zu den Maximalwerthen der für gelbes und indigoblaues Licht bestehenden relativen Unterschiedsempfindlichkeiten, betrachtet werden.

§ 94.

Aus Vorstehendem ergiebt sich, dass unter der Voraussetzung, dass gleich merkliche Empfindungszuwüchse allgemein oder wenigstens innerhalb eines und desselben Sinnesgebietes gleich gross seien, die psychophysische Auffassung des Weber'schen Gesetzes zu erklären hat, woher es komme, dass die Constante κ der corrigirten Maassformel für verschiedene Empfindungsqualitäten verschiedene Werthe besitzt. Nun gründet sich nach der psychophysischen Auffassung die Gültigkeit der corrigirten Maassformel darauf, dass $s = \kappa' \log E$ und $E = \varphi(r)$ ist. Am nächsten scheint daher für diese Auffassung die Annahme zu liegen, dass zwar allgemein die Empfindungsstärke dem Logarithmus der Erregungsintensität proportional gehe, aber die Constante κ' , mit welcher der (natürliche) Logarithmus von E zu multipliciren sei, um s zu erhalten, für verschiedene Empfindungsqualitäten nicht dieselbe Grösse besitze. Allein wenn man ein psychophysisches Gesetz aufstellt, welches für das zwischen Empfindungsstärke und Erregungsintensität bestehende Abhängigkeitsverhältniss gelten soll, so scheint es kaum statthaft zu sein, anzunehmen, dass dieses Gesetz und diese Abhängigkeit der psychischen Intensität von der physischen Intensität je nach der Qualität der Empfindungen eine andere sei; was man doch annehmen würde, wenn man in der das psychophysische Gesetz ausdrückenden Formel: $s = \kappa' \log E$, die Constante κ' als eine mit der Qualität der Empfindungen veränderliche Grösse ansehen wollte. Doch man wird meinen, dies sei eine metaphysische Frage, über die sich streiten lasse. Wir geben die Unsicherheit solcher Ueberlegungen zu und nehmen sogar versuchsweise mit an, dass das psychophysische Gesetz gültig sei und zwar die



Constante κ' desselben sich je nach der Qualität von E und s einem in der Natur der Seele oder in der Art der Wechselwirkung des Physischen und Psychischen begründeten Gesetze gemäss ändere. Allein diese Annahme kann doch nur dann bestehen, wenn sich jene Constante κ' im Falle gewisser Aenderung der Empfindungsqualität bei allen Menschen in gleicher Weise ändert. Sollte sich herausstellen, dass die Constante κ der corrigirten Maassformel, dass die relative Unterschiedsempfindlichkeit, von welcher diese Constante nach den Darlegungen des vorigen Paragraphen abhängt, bei dem einen Individuum für diese Reiz- und Empfindungsqualitäten grösser ist als für jene, bei dem anderen Individuum aber es sich umgekehrt verhält, so muss man entweder annehmen, dass für jedes Individuum eine besondere Art der Wechselwirkung zwischen Leib und Seele, besondere Gesetze für die Abhängigkeit der Empfindungen von den psychophysischen Thätigkeiten existiren, oder ganz davon absehen, die Abhängigkeit der Constanten κ der corrigirten Maassformel von der Reiz- und Empfindungsqualität dadurch erklären zu wollen, dass man annimmt, die entsprechende Constante κ' des psychophysischen Gesetzes sei eine mit der Qualität der Empfindungen veränderliche Grösse. Nun haben wir in § 60 und § 62 gesehen, dass Lamansky das Minimum des eben unmerklichen relativen Helligkeitsunterschiedes für Gelb und Grün $= \frac{1}{273}$ und für Blau $= \frac{1}{264}$ fand, hingegen bei Dobrowolsky's Versuchen sich dasselbe Minimum für Gelb und Grün nur ungefähr $= \frac{1}{50}$ und für Indigoblau $= \frac{1}{267.3}$ herausstellte. Während also Lamansky für relative Unterschiede gelben, grünen und blauen Lichtes annähernd dieselbe Empfindlichkeit besitzt, ist die relative Unterschiedsempfindlichkeit von Dobrowolsky und dessen Mitbeobachtern für Gelb und Grün ungefähr 5 Mal geringer als für Indigoblau. Diese Verschiedenheit der von Lamansky und von Dobrowolsky erhaltenen Versuchsergebnisse ganz auf die von uns erwähnten Unvollkommenheiten und Mängel der auf Helmholtz's Vorschlag von beiden Forschern angewandten Versuchsweisen zurückführen zu wollen, scheint uns doch mehr als bedenklich. Auch scheinen die Versuche von Bohn (Trannin und Camerer) die Annahme bedeutender individueller Schwankungen der Empfindlichkeit für relative Helligkeitsunterschiede farbigen Lichtes zu bestätigen. Unter solchen Umständen dürfte es der psychophysischen Auffassung nicht mehr erlaubt sein, die Abhängig-

keit der Constanten α der Maassformel von der Reiz- und Empfindungsqualität durch eine in der Art der Wechselwirkung des Physischen und Psychischen begründete, entsprechende Abhängigkeit der Constanten α' des psychophysischen Gesetzes zu erklären.

Aber wenn die Variabilität der Constanten α der corrigirten Maassformel: $s = \alpha \log \varphi(r)$, nicht darin ihren Grund hat, dass die entsprechende Constante des psychophysischen Gesetzes: $s = \alpha' \log E$, einen mit der Empfindungsqualität veränderlichen Werth besitzt, worin kann sie denn sonst nach der psychophysischen Auffassung ihren Grund haben? In einer veränderlichen Grösse des Erregungsschwellenwerthes, der im vorstehenden Ausdrücke des psychophysischen Gesetzes die Einheit der Erregungsintensitäten bildet, offenbar nicht. Auch nicht darin, dass die Function φ für die verschiedenen Reizqualitäten eine etwas verschiedene sein kann.*) Unseres Erachtens bleibt der psychophysischen Auffassung nichts anderes übrig, als anzunehmen, dass die Formel, welche die Abhängigkeit der Sinnesnervenerregung von der Reizstärke ausdrückt, nicht $E = \varphi(r)$, sondern vielmehr $E = (\varphi(r))^p$ laute, wo p eine für die verschiedenen Reizqualitäten verschiedene Constante bedeutet, die im Allgemeinen $>$ oder $<$ 1 ist und höchstens nur zufällig einmal auch für eine Reizart genau = 1 sein kann. Setzt man dieser Gleichung gemäss in dem psychophysischen Gesetze: $s = \alpha' \log E$, die Erregungsintensität gleich $(\varphi(r))^p$, so erhält man

$$s = \alpha' \log (\varphi(r))^p = \alpha' p \log \varphi(r).$$

Unter Voraussetzung obiger Gleichung: $E = (\varphi(r))^p$, ist demnach die Constante α oder $(\alpha' p)$, welche in der corrigirten Maassformel den Coefficienten des Logarithmus von $\varphi(r)$ bildet, nicht mehr mit der Constanten α' des psychophysischen Gesetzes identisch und der Erfahrung gemäss mit der Reizqualität veränderlich, weil das Abhängigkeitsverhältniss zwischen Nerven-erregung und Reizstärke je nach der Art des Sinnesreizes ein etwas anderes ist, während die Constante α' des psychophysischen Gesetzes, wie es der allgemeine Charakter dieses Gesetzes er-

*) Innerhalb gewisser mittlerer Grenzen ist $\varphi(r)$ mit grosser Annäherung $= kr$, mithin nach dem psychophysischen Gesetze

$$s = \alpha' \log kr = \alpha' (\log r + \log k).$$

Wenn nun auch k im Allgemeinen mit der Reizqualität veränderlich ist, so erklärt sich doch hierdurch nicht der Umstand, dass die Constante α' je nach der Reizqualität eine andere ist.

fordert, unveränderlich ihren bestimmten Werth behält. Die psychophysische Auffassung vermag also nur dann die Abhängigkeit von der Reizqualität, welche die von uns mit x bezeichnete Constante der corrigirten Maassformel zeigt, zu erklären, wenn sie annimmt, dass $E = (\varphi(r))^p$ sei.*) Macht aber die psychophysische Auffassung diese Annahme, so verliert sie vollends ganz den Vorzug, den sie insofern zu besitzen glaubt, als sie betreffs des zwischen Nervenirregung und Sinnesreiz bestehenden Verhältnisses die einfachste und natürlichste Voraussetzung, nämlich die der Proportionalität beider Vorgänge, zu machen habe, um den Thatsachen gerecht zu werden. Denn dass eine Ansicht, nach welcher die Formel: $E = (\varphi(r))^p$, wo p im Allgemeinen

*) Das Entsprechende gilt auch, wenn man annimmt, dass die Empfindungsstärke nicht bloss von der Amplitude α der Schwingungen irgend welcher kleinster Körpertheilchen des Sensoriums, sondern vielmehr von der durch diese Schwingungen in der Zeiteinheit entwickelten lebendigen Kraft abhängig sei, welche ausser von der Amplitude auch von der Schwingungszahl ν dieser Schwingungen abhängt und zwar unter Voraussetzung gleicher schwingender Massen proportional zu $\alpha^2 \nu^2$ ist. Bei dieser Annahme erhält man (vergl. Fechner, Ps. II, S. 166 ff.) für das psychophysische Gesetz den Ausdruck: $s = x' \log \frac{\alpha^2 \nu^2}{E_0}$, wo E_0 den Schwellenwerth des Productes $\alpha^2 \nu^2$ bedeutet. Setzt man nun $\nu^2 = f(n)$ und $\frac{\alpha^2}{E_0} = \varphi(r)$, wo $f(n)$ eine näher nicht bekannte Function der Schwingungszahl n der Schwingungen des äusseren Reizvorganges oder allgemeiner eine Function der Qualität des äusseren Reizes und $\varphi(r)$ die in § 85 näher charakterisirte Function der Intensität des äusseren Reizprocesses bedeutet, so tritt nach vorstehendem Ausdrucke des psychophysischen Gesetzes an Stelle der corrigirten Maassformel die Formel: $s = x' \log \varphi(r) + x' \log f(n)$. Wie sich nun leicht nach § 93 von Neuem ableiten lässt, muss hier die Constante, mit welcher der Logarithmus von $\varphi(r)$ multiplicirt wird, eine Grösse sein, die sich ebenso wie der Maximalwerth der relativen Unterschiedsempfindlichkeit je nach der Reizqualität ändert. Man mag aber betreffs der Function $f(n)$ annehmen, was man will, der Coefficient von $\log \varphi(r)$ wird dadurch nicht im Mindesten berührt. Erst dann zeigt sich eine Möglichkeit, die thatsächliche Abhängigkeit dieses Coefficienten von der Reizqualität zu erklären, wenn man annimmt, dass $\frac{\alpha^2}{E_0} = (\varphi(r))^p$ sei, wo p eine mit der Reizqualität veränderliche Constante bedeutet.

$>$ oder < 1 ist, Gültigkeit besitzt, nicht bloss, wie im vorigen Capitel gezeigt, nicht behaupten darf, dass ein der Erregungsmaassformel: $E = k' \log \varphi(r)$, entsprechendes Abhängigkeitsverhältniss zwischen 2 physischen Vorgängen „nicht wohl denkbar“ sei, sondern auch nicht mehr daran denken darf, das von ihr selbst angenommene Verhältniss zwischen Sinnesreiz und Nerven-erregung der Erregungsmaassformel gegenüber als ein einfaches und natürliches, geschweige denn als das einfachste und natürlichste Verhältniss hervorzuheben, bedarf keiner weiteren Ausführung. Ebenso leuchtet von selbst ein, dass die physiologische Auffassung nicht die geringsten Schwierigkeiten findet, die Abhängigkeit der Constanten α der corrigirten Maassformel von der Reizqualität dadurch zu erklären, dass die Constante k' der Erregungsmaassformel mit der Qualität des einwirkenden Reizes veränderlich sei. Nach dieser Auffassung ist allgemein $s = k'' E$ und $E = k' \log \varphi(r)$, wo $k'' k'$ der Constanten α der corrigirten Maassformel gleich ist. Nimmt man an, dass k' für die verschiedenen Reizarten verschieden gross sei, so ergibt sich von selbst, dass auch in der corrigirten Maassformel: $s = \alpha \log \varphi(r)$, die Constante α je nach der Qualität von r einen verschiedenen Werth besitzt.

§ 95.

Vielleicht wird man nun geltend machen wollen, unseren bisherigen Ausführungen liege zugestandenermaassen die Voraussetzung zu Grunde, dass die psychophysische Auffassung des Weber'schen Gesetzes annehmen müsse, dass wenigstens innerhalb eines und desselben Sinnesgebietes, also z. B. innerhalb des Gebietes des Gesichtssinnes, gleich merkliche Empfindungszuwüchse allgemein auch gleich grosse Zuwüchse seien. Diese Annahme sei indessen für jene Auffassung keine unumgänglich nothwendige; vielmehr werde letztere in Hinblick auf die im vorigen Paragraphen von uns erörterten Consequenzen der soeben angeführten allgemeinen Annahme behaupten, dass gleich merkliche Empfindungszuwüchse nur für Empfindungen gleicher Qualität auch gleich grosse Zuwüchse seien, hingegen für Empfindungen verschiedener Qualität verschiedene Werthe besässen. Die psychophysische Auffassung brauche nur vorauszusetzen, dass allgemein die absolute Grösse des eben merklichen Empfindungszuwuchses

dem für die betreffende Empfindungsqualität bestehenden, von uns mit ω_g , ω_i u. s. f. bezeichneten Minimalwerthe des eben merklichen relativen Reizzuwuchses proportional gehe, so vermöge sie die Verschiedenheit der Grössen, welche das Maximum der relativen Unterschiedsempfindlichkeit für die verschiedenen Empfindungsgebiete besitzt, leicht zu erklären, ohne annehmen zu müssen, dass die Constante κ der corrigirten Maassformel von der Reizqualität abhängig sei und ohne mithin zu den Schlussfolgerungen genöthigt zu sein, die wir im vorigen Paragraphen unter Voraussetzung solcher Abhängigkeit jener Constanten für die psychophysische Auffassung abgeleitet hätten. Denn sei z. B. wiederum dg , bez. di , die absolute Grösse des eben merklichen Intensitätszuwuchses zu einer Empfindung gelben, bez. indigoblauen Lichtes, dessen Intensität $= r$ sei, und bezeichne dr die Grösse des entsprechenden Reizzuwuchses, so sei nach § 93 $dg = \kappa_g \omega_g$ und $di = \kappa_i \omega_i$. Mache man nun obige Voraussetzung, dass die absolute Grösse des eben merklichen Empfindungszuwuchses dem für die betreffende Empfindungsqualität bestehenden Minimalwerthe des eben merklichen relativen Reizzuwuchses proportional gehe, dass also im vorliegenden Falle $dg:di = \omega_g:\omega_i$ sei, so müsse offenbar nach Vorstehendem $\kappa_g = \kappa_i$ und mithin allgemein die Constante κ der corrigirten Maassformel von der Reizqualität unabhängig sein.

Es lässt sich nicht leugnen, dass die psychophysische Auffassung an der Voraussetzung, dass die Constante κ der corrigirten Maassformel von der Reizqualität unabhängig sei und die thatsächliche Beziehung zwischen der Erregungsintensität und der Reizstärke der Formel: $E = \varphi(r)$, entspreche, festhalten kann, sofern sie nur annimmt, dass allgemein oder wenigstens innerhalb eines und desselben Empfindungsgebietes die absolute Grösse des eben merklichen Empfindungszuwuchses dem für die betreffende Empfindungsqualität bestehenden Minimalwerthe des eben merklichen relativen Reizzuwuchses proportional sei. Doch erhebt sich die Frage, ob es überhaupt der psychophysischen Auffassung erlaubt sei, diese Annahme zu machen, oder nicht. Wir glauben diese Frage verneinen zu müssen. Wie jene Fähigkeit der Seele, Empfindungen verschiedener Intensität auch als verschieden intensiv zu erkennen, wie also ausser der Thatsache eines Empfindungsunterschiedes auch die Merklichkeit desselben möglich sei, davon wissen wir zur Zeit so viel wie nichts. Doch

wird allgemein zugegeben, dass es sich bei Vergleichung zweier Empfindungsintensitäten um eine von unserem blossen Empfindungsvermögen unterschiedene, höhere seelische Fähigkeit, um einen höheren Bewusstseinsact handle. Nun erscheint es sehr wohl möglich, dass irgend welchen in der Natur dieser höheren psychischen Thätigkeit begründeten Gesetzen gemäss der absolute Intensitätsunterschied zweier Empfindungen gleicher Qualität, um uns in bestimmtem Maasse merklich, z. B. eben merklich, zu sein, je nach der Qualität beider Empfindungen verschieden gross sein müsse. Aber zweierlei wird, wohl hierbei vorauszusetzen sein, erstens dass die Abhängigkeit, in welcher die Merklichkeit eines Empfindungszuwuchses zur Empfindungsqualität steht, für alle Individuen dieselbe sei, und zweitens, dass diese Abhängigkeit der relativen Unterschiedsempfindlichkeit von der Empfindungsqualität eine gewisse Gesetzmässigkeit zeige, insofern dann, wenn die Empfindungsqualität geändert werde, die relative Unterschiedsempfindlichkeit sich gleichfalls in entsprechender Weise ändere, nicht aber in, so zu sagen, ganz unmotivirter Weise das eine Mal sich ebenfalls ändere, das andere Mal aber unverändert bleibe u. dergl. m. Mit letzterer Anforderung scheint es uns gar nicht übereinzustimmen, dass z. B. nach Lamansky's Versuchen die relative Unterschiedsempfindlichkeit sich mehr als verdreifacht, wenn man vom Orange zum Gelb, und mehr als verdoppelt, wenn man vom Violett zum Blau übergeht, hingegen für die Nüancen des Gelb, Grün und Blau merklich dieselbe ist. Dass ferner die Abhängigkeit, in welcher die relative Unterschiedsempfindlichkeit zur Reiz- und Empfindungsqualität steht, nicht bloss keine gesetzmässige, sondern auch eine individuell sehr verschiedene ist, geht hinlänglich aus § 60 und 62 hervor. Es will uns durchaus unstatthaft erscheinen, diese individuellen Verschiedenheiten der relativen Unterschiedsempfindlichkeit durch die Annahme zu erklären, dass die Empfindungsqualität oder, wenn man will, die dieser entsprechende Qualität der psychophysischen Thätigkeit auf jenen höheren Bewusstseinsact, vermöge dessen uns ein Empfindungsunterschied in diesem oder jenem Maasse merklich wird, bei dem einen Beobachter, z. B. bei Lamansky, einen anderen Einfluss ausübe als bei dem anderen, z. B. bei Dobrowolsky, so dass z. B. bei letzterem Forscher der absolute Intensitätsunterschied zweier Empfindungen gelben oder grünen Lichtes, um in bestimmtem Maasse merk-

lich zu sein, 5 bis 6 Mal grösser sein müsse als der absolute Intensitätsunterschied zweier Empfindungen indigoblauer Helligkeiten, während bei Lamansky die absolute Grösse eines in bestimmtem Maasse merklichen Empfindungsunterschiedes für alle 3 Empfindungsqualitäten (Gelb, Grün, Blau) annähernd gleich gross sei. Wir geben gern zu, dass die vergleichende Thätigkeit der Seele da, wo Erfahrungsmomente mitwirken, Einflüssen unterliege, die bei verschiedenen Individuen sich in verschiedener Weise geltend machen können. Gilt es z. B., einer in bestimmter Entfernung gegebenen Distanz eine andere in grösserer Nähe befindliche Distanz gleich zu machen, so wird (vergl. Fechner, Ps. II, S. 312) der eine die letztere Distanz im Allgemeinen zu klein, der andere zu gross machen u. dergl. m. In allen solchen Fällen ist die vergleichende Thätigkeit der Seele durch Einflüsse der für verschiedene Individuen oft verschiedenen Lebenserfahrungen mehr oder weniger mit bestimmt, und es ist daher selbstverständlich, dass in derartigen Fällen die Vergleichung gegebener Sinneseindrücke für verschiedene Personen verschiedene Resultate ergeben kann. Wir wüssten jedoch nicht, inwiefern bei Versuchen von der Art, wie sie Lamansky, Dobrowolsky und Bohn anstellten, wo es sich um die Merklichkeit eines Intensitätsunterschiedes zweier gleichfarbiger, an einander angrenzender Helligkeiten handelte, irgend welche Erfahrungsmomente mit hätten in's Spiel kommen können, so dass in Folge derselben das Verhältniss, in dem die absolute Grösse des eben unmerklichen Intensitätsunterschiedes zweier Empfindungen gelben oder grünen Lichtes zur Grösse des gleich merklichen Unterschiedes zweier Empfindungen indigoblauen Lichtes steht, die obigen individuellen Verschiedenheiten hätte zeigen können.

§ 96.

Es will uns überhaupt scheinen, als könne man bei einiger Unbefangenheit kaum auf einen anderen Gedanken kommen als auf den, dass die individuell verschiedene Abhängigkeit der relativen Unterschiedsempfindlichkeit von der Wellenlänge des einwirkenden Lichtes auf ähnliche Weise rein physiologisch zu erklären sei, wie die individuellen Verschiedenheiten der absoluten Empfindlichkeit für gewisse Spectralfarben, die vollständige oder unvollständige Farbenblindheit mancher Individuen, die That-

sache, dass dem einen Beobachter diese, dem anderen aber jene Farbe bei geringerer Helligkeit erkennbar oder nach kürzerer Zeit ihrer Einwirkung wahrnehmbar zu sein schien u. dergl. m. Wenn man, um den Thatsachen der vollständigen und unvollständigen Farbenblindheit gerecht zu werden, annehmen muss*), dass einzelne Individuen für Licht gewisser Wellenlänge ganz unempfindlich seien oder wenigstens bei Einwirkung von Lichtstrahlen gewisser Wellenlänge der Verlauf der Erregungscurve einer oder mehrerer (Young'scher) Nervenfasergattungen bei ihnen ein anormaler sei, so liegt doch nichts näher als die Annahme, dass individuelle Verschiedenheiten der relativen Unterschiedsempfindlichkeit im Gebiete des Gesichtssinnes gleichfalls rein physiologisch in einem individuell verschiedenen Verlaufe der den verschiedenen Farben entsprechenden Erregungscurven begründet seien. Auch ist beachtenswerth, dass Dobrowolsky nebst seinen beiden Mitbeobachtern in Uebereinstimmung mit Lamansky gerade für Roth den geringsten Werth der relativen Unterschiedsempfindlichkeit gefunden hat und zwar einen um so geringeren Werth, je näher das Roth dem weniger brechbaren Ende des Spectrums lag. Nicht mit Unrecht scheint uns Lamansky die geringe Unterschiedsempfindlichkeit, die sich bei seinen Versuchen für die rothe Farbe herausstellte, mit rein physiologischen Verhältnissen in Verbindung zu bringen, indem er daran erinnert, dass nach den Aussagen verschiedener Beobachter bei sinkendem Abende in Bildergalerien zuerst die rothen Farben verschwinden, dass die Seitentheile der Netzhaut ganz oder wenigstens in gewissem Maasse rothblind sind, dass unter allen Farbenblinden die Rothblinden die häufigsten sind, und dass man nach vorliegenden klinischen Beobachtungen bei beginnender Atrophie des Sehnerven zuerst für Roth blind wird und dann erst für die übrigen Farben.

Helmholtz (Popul. Vorträge, III, S. 80) setzt ferner, wie uns scheint, nicht mit Unrecht voraus, dass die geringe Grösse der für rothes Licht bestehenden relativen Unterschiedsempfindlichkeit in näherem Zusammenhange damit stehe, dass die Erscheinungen der Blendung bei gesteigerter Helligkeit im Roth schwächer auftreten als im Blau. Wie könnte nun zwischen

*) Vergl. Leber in den Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. von 1873, S. 467 ff., ferner Fick in den Würzburger Verhandlg. von 1873, S. 158 ff.

diesen beiden Thatsachen ein näherer Zusammenhang bestehen, wenn die erstere Thatsache lediglich darin begründet wäre, dass die Grösse des eben merklichen Empfindungszuwuchses für Roth eine beträchtlichere sei als für Blau und demgemäss die Constante κ der corrigirten Maassformel von der Reizqualität unabhängig wäre? Nehmen wir aber an, dass diese Constante κ von der Wellenlänge des einwirkenden Lichtes abhängig sei, und zwar gemäss den Ausführungen von § 93 sich umgekehrt verhalte wie die Werthe ω_r , ω_b , ω_g u. s. f., die für die rothen, blauen, grünen u. s. f. Helligkeiten bestehenden Minimalwerthe der relativen Grösse des Unterschiedsschwellenwerthes, so erhalten wir für die Empfindungen des Roth die Formel: $s = \kappa_r \log \varphi_r(r)$, und für die Empfindungen des Blau die Formel: $s = \kappa_b \log \varphi_b(r)$, wo $\kappa_r : \kappa_b = \omega_b : \omega_r$, mithin κ_b im Allgemeinen beträchtlich grösser als κ_r ist. Wenn nun auch die Functionen $\varphi_r(r)$ und $\varphi_b(r)$ nicht als ganz identisch zu betrachten sind, so erklärt sich doch wegen des beträchtlichen Unterschiedes der Constanten κ_r und κ_b aus diesen beiden Formeln auf sehr einfache Weise, warum blaue Lichtflächen, wie es nach gewissen Beobachtungen scheint (vergl. Helmholtz, Ph. O. S. 317 f.) bei schwacher Beleuchtung höhere Empfindungsintensitäten hervorrufen als rothe Lichtflächen, und warum die Empfindungen des Blau eher als die des Roth diejenigen hohen Intensitätsgrade erreichen, mit denen die Erscheinungen der Blendung verknüpft sind.

Die Functionen $\varphi_r(r)$ und $\varphi_b(r)$ obiger 2 Formeln stimmen ihrem allgemeinen Charakter nach wesentlich mit einander überein; jede von beiden ergiebt eine Curve, welche Anfangs gegen die Abscissenaxe convex ist, sich aber immer mehr einer geraden Linie nähert und zuletzt bei einem bestimmten Punkte in eine gegen die Abscissenaxe concave Curve übergeht. Nur ist keineswegs nothwendig vorauszusetzen, dass diejenige rothe Helligkeit, bei welcher die der Function $\varphi_r(r)$ entsprechende Curve ihren Wendungspunkt erreicht und demgemäss die relative Unterschiedsempfindlichkeit des Roth ihr Maximum besitzt, genau dieselbe Intensität besitze wie diejenige blaue Helligkeit, bei welcher die der Function $\varphi_b(r)$ entsprechende Curve ihren Wendungspunkt erreicht und die relative Unterschiedsempfindlichkeit des Blau ihren höchsten Werth besitzt. Bohn (Pogg. Annal. Ergänzungsband 6, S. 395) behauptet auf Grund seiner Versuche, dass die Helligkeit der grössten relativen Unterschieds-

empfindlichkeit nicht für alle Lichtarten dieselbe sei und zwar für Violett und Blau am geringsten zu sein scheine. Nach dieser Bemerkung Bohn's und den beiden obigen Formeln wächst bei zunehmender Reizstärke die Empfindung des Blau anfänglich viel schneller als die des Roth, weil die Constante κ_b beträchtlich grösser als κ_r und die Curve der Function $\varphi_b(r)$ Anfangs gleichfalls eine gegen die Abscissenaxe convexe Curve ist. Da aber diese Curve bald in eine concave übergeht, während die der Function $\varphi_r(r)$ entsprechende Curve, welche nach Bohn's Beobachtungen ihren Wendungspunkt erst später erreicht, noch längere Zeit convex bleibt, so wird das Wachsthum der Empfindung des Blau im Verhältnisse zu dem der Empfindung des Roth ein immer geringeres, und zuletzt kann das Wachsthum der letzteren Empfindung sogar ein schnelleres werden als das der ersteren, obwohl $\kappa_r < \kappa_b$ ist. Hat man also eine rothe und eine blaue Lichtfläche, welche bei mittlerer Beleuchtungsstärke den Eindruck gleicher Helligkeit machen, so werden, wenn unsere bisherigen Annahmen richtig sind, beide Flächen verschieden hell erscheinen, sobald die Beleuchtung beträchtlich geändert wird, und zwar wird bei sehr abgeschwächter Beleuchtung die blaue Fläche und bei sehr verstärkter Beleuchtung die rothe Fläche als die hellere erscheinen. Es ist bekannt, dass die Resultate gewisser Beobachtungen von Dove, Helmholtz (Ph. O. S. 317) und Pogson (Astron. Nachr. no. 1132) mit diesen Schlussfolgerungen vollkommen übereinstimmen.*)

*) Wir bestreiten natürlich nicht, dass sich bei einzelnen Individuen Abweichungen von dem oben angedeuteten Verlaufe der Empfindungscurven des Roth und Blau finden können. Aehnlich wie die Empfindungscurven dieser beiden Farben lassen sich auch diejenigen der übrigen Farben in ihren Verhältnissen zu einander discutiren. Nur fehlt es noch allerwärts an einer gesicherten, empirischen Grundlage für eine solche Discussion und ähnliche weiter gehende Betrachtungen. Leider ist zur Zeit nicht einmal sicher constatirt, ob die relative Unterschiedsempfindlichkeit, wie zu vermuthen, am brechbaren Ende des Spectrums allgemein einen ähnlichen Abfall erleidet wie am weniger brechbaren Ende. Noch gar nicht ist untersucht, wie sich die relative Unterschiedsempfindlichkeit des Purpur verhält, ob sich die relative Unterschiedsempfindlichkeit des Weiss je nach der Art der Zusammensetzung des weissen Lichtes ändere, z. B. eine grössere sei, wenn man das weisse Licht aus blauen und gelben, eine kleinere, wenn man es aus grünen und rothen Strahlen

Es existirt also eine Anzahl physiologisch zu erklärender Erscheinungen des Farbensinnes, welche zweifelsohne in näherer Beziehung zu dem Verhalten stehen, welches die relative Unterschiedsempfindlichkeit im Gebiete der verschiedenen Spectralfarben zeigt. Diesem näheren Zusammenhange jener Erscheinungen mit dem Verhalten der Unterschiedsempfindlichkeit kann man aber nicht gerecht werden, wenn man annimmt, dass die Verschiedenheit der Minimalwerthe ω_r , ω_g , ω_b u. s. f., welche die relative Grösse des Unterschiedsschwellenwerthes für die verschiedenen Farben besitzt, lediglich darin begründet sei, dass die absolute Grösse des eben merklichen Empfindungszuwuchses für die verschiedenen Farbenempfindungen eine verschiedene sei, und zwar sich genau so verhalte wie jene Werthe ω_r , ω_g , ω_b u. s. f. Wohl aber lässt sich der Zusammenhang jener That-sachen leicht erkennen, wenn man annimmt, dass aus physiologischen Gründen die Constante α der corrigirten Maassformel von der Wellenlänge des einwirkenden Lichtes abhängig sei. Was übrigens von dem Abhängigkeitsverhältnisse gilt, in welchem die relative Unterschiedsempfindlichkeit zur Wellenlänge des Lichtes steht, gilt auch betreffs der Abhängigkeit derselben von der Oertlichkeit der gereizten Netzhautstelle. Nach den Versuchen von Schön (Arch. f. Ophth., Bd. XXII, Abth. 4, S. 50) ist die Empfindung, welche von einem bestimmten Lichtreize hervorgerufen wird, im Allgemeinen um so weniger intensiv, je weiter vom gelben Flecke entfernt die gereizte Netzhautstelle ist. *) Das Entsprechende gilt von der relativen Unterschiedsempfindlichkeit; der Minimalwerth ω des eben merklichen relativen Lichtunterschiedes ist nach den Untersuchungen von Dobrowolsky und A. Gaine (Pflüger's Arch., Bd. 12, S. 436 ff.) um so grösser, je weniger central die Lage der gereizten Netzhautgegend ist. Nach Schön liefert der gleiche Reiz auf den Graden der inneren Retinahälfte einen intensiveren Eindruck als auf den gleichen Graden der äusseren Netzhauthälfte. **) Nach Dobrowolsky und

zusammensetze, u. dergl. m. Wie verträgt sich übrigens die Thatsache, dass Lamansky die relative Unterschiedsempfindlichkeit sowohl für Gelb als auch für Blau grösser fand als für Weiss, mit der Young-Helmholtz'schen Theorie?

*) Natürlich kann eine beträchtliche Abstumpfung der centralen Theile der Netzhaut Abweichungen von dieser Regel bewirken. — **) Das

Gain ist die relative Unterschiedsempfindlichkeit der verschiedenen Theile der inneren Netzhauthälfte eine grössere als die der entsprechenden Theile der äusseren Retinahälfte. Lässt man die gereizte Netzhautstelle sich immer mehr der Peripherie der Netzhaut nähern, so wird bekanntermaassen die Empfindung, welche von einer rothen Helligkeit hervorgerufen wird, weit eher eine sehr schwache und undeutliche als die Empfindung, welche von einer bei directem Sehen gleich intensiv erscheinenden blauen Helligkeit bewirkt wird. Dobrowolsky (a. o. a. O. S. 462 f.) hat gezeigt, dass die relative Unterschiedsempfindlichkeit des Blau diejenige des Roth auf der ganzen Peripherie der Netzhaut weit übertrifft. Will man die Correspondenz dieser und anderer ähnlicher Thatsachen für eine rein zufällige erklären? Sicherlich nicht; man wird meinen, dass dieselben anatomischen und physiologischen Verhältnisse, in denen es begründet ist, dass derselbe Reiz auf peripherischen Theilen der Netzhaut weniger intensive Empfindungen hervorruft als auf centralen Theilen und bei Einwirkung auf Theile der inneren Netzhauthälfte eine grössere Empfindungsintensität zu Folge hat als bei Einwirkung auf entsprechende Theile der äusseren Retinahälfte u. dergl. m., auch die soeben angedeutete Abhängigkeit der relativen Unterschiedsempfindlichkeit von der Oertlichkeit der gereizten Netzhautstelle bedingen.*) Kurz, der Grund der individuell ver-

Entsprechende gilt nach Reich (Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. XII, S. 253 f.) von der Erkennbarkeit der Farben auf beiden Netzhauthälften.

*) Bemerkenswerth ist, dass nach den Versuchen von Dobrowolsky (a. o. a. O. S. 438) die Uebung ohne merklichen Einfluss auf die Unterschiedsempfindlichkeit der peripherischen Netzhauttheile ist. Es kann daher die geringe Unterschiedsempfindlichkeit dieser Theile nicht in Mangel an Uebung begründet sein. Eher dürfte die geringe Schärfe der Contouren der mittels der seitlichen Netzhautpartien wahrgenommenen Bilder in Betracht kommen. Aber auch dieser Umstand kann die Abnahme der Unterschiedsempfindlichkeit auf den peripherischen Netzhauttheilen, wie sich dieselbe nach den Versuchen der oben angeführten Forscher thatsächlich darstellt, nur zu sehr geringem Theile erklären. Erhebt sich doch, um von Anderem, z. B. dem verschiedenen Verhalten der beiden Netzhauthälften, ganz abzusehen, nach den Versuchen von Dobrowolsky die relative Grösse des Unterschiedsschwellenwerthes für Roth, Grün und Blau bereits bei einem Abstände von 5° von der fovea centralis auf mehr als das Doppelte.

schiedenen Abhängigkeit der relativen Unterschiedsempfindlichkeit von der Wellenlänge des einwirkenden Lichtes und der Abhängigkeit dieses psychischen Vermögens von der Oertlichkeit der gereizten Netzhautstelle ist ohne Zweifel im Wesentlichen ein rein physiologischer und zwar darin zu suchen, dass das functionelle Verhältniss zwischen Sinnesnerven-erregung und Reizstärke für die verschiedenen Reizqualitäten ein etwas verschiedenes und zwar individuellen Schwankungen ausgesetztes ist und ebenso sich mit der Oertlichkeit der gereizten Netzhautgegend etwas ändert. Die physiologische Auffassung nimmt daher an, dass nicht bloss die Function $\varphi(r)$, deren allgemeiner Charakter allerdings immer derselbe bleibt, sondern vor Allem auch die Constante k' der Erregungsmaassformel: $E = k' \log \varphi(r)$, für verschiedene Reizqualitäten, verschiedene Individuen und verschiedene Netzhautstellen eine andere sei. Will man die unseres Erachtens allein mögliche, physiologische Erklärungsweise der Abhängigkeit der relativen Unterschiedsempfindlichkeit von der Wellenlänge des wahrgenommenen Lichtes und von der Oertlichkeit der gereizten Netzhautstelle mit der psychophysischen Auffassung des Weber'schen Gesetzes verbinden, so bleibt, wie gesehen, nichts anderes übrig, als anzunehmen, dass allgemein $E = (\varphi(r))^p$ sei, wo p eine mit der Qualität von r und mit der Oertlichkeit der Reizeinwirkung veränderliche Constante ist. Dass die psychophysische Auffassung durch Annahme dieser Gleichung aller der Vortheile verlustig geht, die sie deswegen zu besitzen glaubt, weil sie betreffs des zwischen Reizstärke und Nerven-erregung bestehenden Verhältnisses die einfachste und natürlichste Voraussetzung, nämlich die der Proportionalität, zu machen habe, die uns aber schon nach den Erörterungen des § 91 sehr zweifelhaft erschienen, haben wir schon früher hervorgehoben.

4. Capitel.

Das Parallelgesetz.

§ 97.

Sehr wichtig schien Fechner folgende Frage zu sein, ob sich die relative Unterschiedsempfindlichkeit bei Aenderung der absoluten Empfindlichkeit gleichfalls ändere oder nicht. Das Gesetz, welches diese Frage in verneinendem Sinne beantwortet, bezeichnet er kurz als das Parallelgesetz des Weber'schen Gesetzes oder schlechthin als das Parallelgesetz, und zwar bezieht sich dieses Gesetz nach Fechner's Ausführungen auf 2 im Grunde sehr verschiedene Fälle. Erstens kann die Abänderung der Erregbarkeit eine nur zeitliche sein, insofern ein Sinnesorgan oder ein Theil eines solchen in Folge der Einwirkung der Reize je nach der Stärke und Dauer derselben verschiedene Zustände der Reizbarkeit*) durchlaufen kann. Zweitens besitzen gewisse Sinnesorgane an verschiedenen Orten ihrer Ausdehnung eine verschiedene Erregbarkeit, z. B. die Netzhaut in ihren centralen und ihren peripherischen Bezirken, so dass auch von einer räumlichen Verschiedenheit der absoluten Empfindlichkeit gesprochen werden kann.

In dieser letzteren, räumlichen Beziehung scheint das Parallelgesetz nach den bisherigen Versuchen ungültig zu sein. Im Gebiete des Gesichtssinnes haben Exner (Pflüger's Arch., III, S. 236) und, wie bereits erwähnt, insbesondere Dobrowolsky und Gaine (Pflüger's Arch., XII, S. 432 ff. 441 ff.) gefunden, dass die verschiedenen Theile derselben Netzhauthälfte eine um so geringere Empfindlichkeit für relative Helligkeitsunterschiede besitzen, je weiter sie vom gelben Flecke entfernt sind. Nach den Versuchen der beiden letzteren Forscher ist ferner die relative Unterschiedsempfindlichkeit der Bezirke der inneren Netzhauthälfte eine grössere als die der entsprechenden Bezirke der äusseren Netzhauthälfte. Wie diese Thatsachen zu erklären sind, haben wir bereits im vorigen Paragraphen angedeutet. Ausser den Versuchsreihen von Exner, Dobrowolsky und Gaine liegen uns nur

*) Auf das Princip, nach welchem Fechner die Reizbarkeit und deren Aenderungen misst, werden wir erst bei künftiger Gelegenheit näher eingehen.

noch einige mit drückenden, bez. gehobenen, Gewichten angestellte Versuche von E. H. Weber (Annot. Anat. S. 91 ff.) und Bernhardt (Arch. f. Psychiatrie, Bd. III, S. 629 f.) vor, welche ebenfalls die Ungültigkeit des Parallelgesetzes in räumlicher Hinsicht zu ergeben scheinen, indessen nicht mit voller Sicherheit, da die betreffenden Körpertheile nur bei Anwendung eines einzigen Gewichtes hinsichtlich ihrer Unterschiedsempfindlichkeit geprüft wurden. Es ist aber sehr wohl denkbar, dass die Unterschiedsempfindlichkeiten verschiedener Körpertheile sich zwar bei Benutzung eines und desselben Hauptgewichtes als verschieden erweisen, aber doch, wenn auch bei verschiedenen absoluten Gewichtsgrössen, ganz dieselben Maximalwerthe erreichen.

Es will uns scheinen, als seien die Unterschiede der Reizbarkeiten verschiedener Theile eines Sinnesorganes mit der zeitlichen Verschiedenheit der Erregbarkeit eines und desselben Theiles gar nicht in eine Linie zu stellen, und als sei es daher angemessen, wenn wir im Folgenden das Parallelgesetz nur noch auf die zeitlichen Aenderungen der absoluten Empfindlichkeit eines und desselben Organes beziehen. Die Gültigkeit des Parallelgesetzes in dieser beschränkteren Bedeutung ist zur Zeit nur sehr wenig untersucht. Allerdings hat Fechner behufs Prüfung dieses Gesetzes ziemlich zahlreiche Gewichtsversuche nach der Methode der r. und f. Fälle angestellt. Leider sind jedoch die zur Zeit vorliegenden Mittheilungen über die Resultate dieser, zum Theil übrigens nicht ganz zweckmässig angestellter, Versuche für uns ganz unbrauchbar, da Fechner die bei diesen Versuchen erhaltenen Zahlen richtiger, falscher und zweifelhafter Fälle in der früher erörterten, unrichtigen Weise behandelt hat. Es kommen daher gegenwärtig für Beantwortung der Frage, ob bei zeitlich abgeänderter Erregbarkeit auch die Unterschiedsempfindlichkeit eine andere sei, nur gewisse Erfahrungen des gewöhnlichen Lebens, einige Beobachtungen Aubert's und gewisse das Parallelgesetz indirect berührende Versuche von Helmholtz, C. Fr. Müller und Schön in Betracht. Wir werden weiterhin Gelegenheit haben, die Resultate dieser Versuche und Beobachtungen näher anzuführen. Fechner (Ps. I, S. 304) macht nicht ganz mit Unrecht geltend, dass die Bewährung des Weber'schen Gesetzes selbst nur unter Voraussetzung der Gültigkeit des Parallelgesetzes möglich zu sein scheine; denn nothwendig müsse sich im Laufe der Versuche wegen der dauernden oder

wiederholten und abgeänderten Einwirkung der Reize die Erregbarkeit ändern, und daher scheine es nicht, dass eine Bewährung des Weber'schen Gesetzes durch eine Skala verschiedener Reizgrade gelingen könnte, wenn nicht zugleich sein Parallelgesetz bestände. Doch man darf dieses Argument nicht überschätzen. Denn erstens zeigen die Ergebnisse einer behufs Prüfung des Weber'schen Gesetzes angestellten Versuchsreihe durchaus nicht immer eine solche Uebereinstimmung und Regelmässigkeit, dass zu schliessen ist, die im Verlaufe der Versuchsreihe eintretenden Schwankungen der Erregbarkeit hätten einen Einfluss auf die relative Unterschiedsempfindlichkeit nicht ausüben können. Zweitens haben sorgfältige Beobachter wie Aubert u. A. durch geeignete Maassregeln die Erregbarkeit während einer Versuchsreihe möglichst constant zu erhalten gesucht. Auch bringt es die Ausführungsweise derartiger Versuchsreihen von selbst mit sich, dass zwischen die einzelnen Beobachtungen Pausen von grösserer oder geringerer Dauer fallen, welche bewirken, dass die Aenderungen der absoluten Empfindlichkeit innerhalb einer Versuchsreihe gewisse Grenzen nicht überschreiten.

§ 98.

Wir sehen nun zunächst von der Frage, inwieweit das Parallelgesetz wirklich zu gelten scheine, ganz ab und untersuchen, ob, angenommen dasselbe besitze volle Gültigkeit, aus demselben irgend welche Folgerung betreffs der wahren Bedeutung des Weber'schen Gesetzes hervorgehe. Fechner (Ps. II, S. 430) äussert sich unter Anderem folgendermaassen: „Auch das Parallelgesetz verträgt sich nur mit der ersten Annahme (nämlich der psychophysischen Deutung des Weber'schen Gesetzes) und kann selbst als eine Folgerung derselben angesehen werden. Nach diesem Gesetze ändert sich die Grösse des empfundenen Unterschiedes zwischen 2 Reizen nicht, wenn die Empfindlichkeit sich für beide gleichmässig abstumpft. Aber sie müsste sich mindern, wenn der empfundene Unterschied vielmehr dem absoluten Unterschiede der psychophysischen Thätigkeit als dem relativen proportional ginge; denn wenn jeder beider Reize vermöge abgestumpfter Empfindlichkeit bloss noch eine halb so starke psychophysische Thätigkeit hervorruft, so ist auch der Unterschied derselben auf die Hälfte reducirt.“ Aehn-

lich spricht sich Fechner auch noch an anderer Stelle (Ps. I, S. 301 f.) aus.

Wir können diesen Auslassungen Fechner's durchaus nicht beipflichten. Fechner setzt voraus, nach der physiologischen Auffassung des Weber'schen Gesetzes müsse bei vereinfachter Erregbarkeit auch der Unterschied der zu zwei Reizen r' und r'' zugehörigen Empfindungen s' und s'' n mal so gross sein als zuvor, weil die Nervenenerregungen E' und E'' , denen nach dieser Auffassung die Empfindungsstärken s' und s'' proportional seien, die n -fachen Intensitäten besässen. Untersuchen wir näher, ob wirklich nach der physiologischen Auffassung der Unterschied der durch die Reize r' und r'' hervorgerufenen Nervenenerregungen E' und E'' bei n -facher absoluter Empfindlichkeit gleichfalls den n -fachen Werth besitzen muss.

Ist die Formel: $E = f(r)$, allgemein die Formel, welche das functionelle Verhältniss ausdrückt, in welchem bei constanter, etwa gleich 1 gesetzter Erregbarkeit die Sinnesnervenenerregung zur Reizstärke steht, so muss sich diese Formel irgendwie dahin erweitern lassen, dass E nicht bloss als abhängig von r , sondern auch als abhängig von der Reizbarkeit R erscheint. Von allen den Ausdrücken, welche man durch derartige Erweiterung obiger Formel erhält, bieten sich zwei als die einfachsten und nahelegendsten dar, nämlich die Formeln: $E = f(R \cdot r)$, und $E = R \cdot f(r)$, in deren ersterer $R \cdot r$ das Product der Grössen R und r bedeutet. Beide Formeln gehen wieder in den Ausdruck: $E = f(r)$, über, wenn man R als constant betrachtet und zwar $= 1$ setzt. Nimmt man an, dass die erstere Formel die richtige sei, so steht die physiologische Deutung des Weber'schen Gesetzes, nach welcher $f(r)$ innerhalb gewisser Grenzen ohne merklichen Fehler $= k \log r + c$ und mithin

$$f(R \cdot r) = k \log (R \cdot r) + c$$

gesetzt werden kann, mit einer innerhalb gewisser Grenzen bestehenden, annähernden Gültigkeit des Parallelgesetzes in bestem Einklange. Denn alsdann ist nach dieser Auffassung der Erregungsunterschied $E' - E''$ innerhalb gewisser Grenzen annähernd $= k \log \frac{R \cdot r'}{R \cdot r''} = k \log \frac{r'}{r''}$, mithin der zu $E' - E''$ proportionale Empfindungsunterschied $s' - s''$ unabhängig von der Reizbarkeit R , bei welcher die Reize r' und r'' einwirken. Wenn daher Fechner behauptet, nach der physiologischen Auf-

fassung des Weber'schen Gesetzes müsste der Empfindungsunterschied $s' - s''$ bei der n -fachen Erregbarkeit auch n mal so gross sein, so geht er offenbar von der Voraussetzung aus, dass nothwendig die zweite der beiden obigen Formeln, nach welcher E allgemein $= R \cdot f(r)$ ist, die den thatsächlichen Verhältnissen entsprechende sei. Unter dieser Voraussetzung würde allerdings nach der physiologischen Auffassung innerhalb gewisser Grenzen die Erregungsintensität $E = R(k \log r + c)$ und der Erregungsunterschied $E - E' = R \cdot k \log \frac{r'}{r''}$ gesetzt werden können, mit-

hin letzterer und ebenso auch der Empfindungsunterschied $s' - s''$ bei n -facher Erregbarkeit auch die n -fache Grösse besitzen. Allein Fechner hat durchaus nichts angeführt, um diese seine Voraussetzung zu begründen. Die Formel: $E = R \cdot f(r)$, drückt aus: welches auch das Verhältniss ist, in welchem bei constanter Erregbarkeit die Sinnesnervenerregung zur Reizstärke steht, auf jeden Fall wird, wenn die Erregbarkeit sich in der Weise ändert, dass ein beliebiger Reiz eine n mal so grosse Erregung zu Folge hat als zuvor, alsdann jeder Reiz die n -fache Erregungsintensität hervorrufen. Die Formel: $E = f(R \cdot r)$, hingegen besagt: wenn die absolute Empfindlichkeit eine derartige Aenderung erlitten hat, dass ein beliebiger Reiz diejenige Erregung im Nerven hervorruft, welche zuvor ein Reiz von der n -fachen Intensität bewirkt hat, so hat alsdann bei diesem Zustande der Erregbarkeit jeder Reiz dieselbe Wirkung, welche zuvor ein Reiz von der n -fachen Stärke gehabt hat oder gehabt haben würde. Wir wüssten nicht, warum die erstere beider Annahmen vor der anderen den Vorzug verdiene. Im Gegentheile wir finden, dass sich die zweite Annahme in gewisser Hinsicht vor der ersteren empfehle. Es wird weiterer Erörterungen dieser Frage nicht bedürfen, wenn wir kurz nachweisen, dass Fechner selbst bei dem Versuche, die psychophysische Auffassung des Weber'schen Gesetzes in Uebereinstimmung mit den thatsächlichen Abweichungen vom Parallelgesetze zu bringen, die Gültigkeit der allgemeinen Formel: $E = f(R \cdot r)$, ohne Weiteres voraussetzt.

In seiner Abhandlung „über die Frage des psychophysischen Grundgesetzes mit Rücksicht auf Aubert's Versuche“ äussert nämlich Fechner in Hinblick auf beträchtliche, bei Aubert's Versuchen hervorgetretene Abweichungen vom Parallelgesetze Folgendes: „Wenn nun Aubert nach S. 67 seiner Schrift bei

geringen Helligkeitsgraden stärkere Abweichungen vom Parallelgesetz beobachtet hat, als sich aus dem, jedenfalls mit in Rücksicht zu ziehenden, Dasein der constant bleibenden Helligkeit des Augenschwarz allein erklären lässt*), so hängt dies natürlicherweise damit zusammen, dass sich auch die Abweichungen vom Weber'schen Gesetze nach unten nach seinen Versuchen nicht allein hieraus erklären lassen; wohl aber lassen sich hypothetisch beide Abweichungen im Zusammenhange durch die Voraussetzung erklären, dass in den niederen Graden der Helligkeitsstärke und mithin auch bei den niederen Graden der absoluten Empfindlichkeit, welche eine geringere Helligkeit aus inneren Gründen mitführt, die stärkere psychophysische Thätigkeit verhältnissmässig zum Reize minder stark ausfalle als die schwächere; mit wachsender Helligkeit oder absoluter Empfindlichkeit aber die Annäherung an die Proportionalität wachse.“ Fechner erklärt also, wie bereits früher gesehen, die unteren Abweichungen vom Weber'schen Gesetze in der Weise, dass er sich die Curve der Nervenirregungen als eine Anfangs gegen die Abscissenaxe convexe und mit Abnahme dieser Convexität bei höheren Reizgraden allmählich in eine gerade Linie übergehende vorstellt, und glaubt, wie aus Vorstehendem hervorgeht, dass sich durch diese Annahme zugleich auch die unteren Abweichungen vom Parallelgesetz erklären liessen. Nach Fechner's

*) Fechner (Ps. I, S. 325 ff.) führt zur Erklärung der im Gebiete des Gesichtssinnes bestehenden unteren Abweichungen vom Parallelgesetz auch die dem Augenschwarz zu Grunde liegende, beständige, subjective Erregung an, indem er voraussetzt, dass die Empfindung des Augenschwarz in einer inneren Reizung ihren Grund habe, welche direct auf gewisse centrale Nervenorgane ausgeübt werde, deren Zustände selbstverständlich durch die Aenderungen der Erregbarkeit des Sinnesnerven und des äusseren Sinnesorganes in geringerem Grade beeinflusst würden als die von aussen hervorgerufenen Nervenirregungen. Dem gegenüber erinnern wir an die wohl begründete Bemerkung Helmholtz's (Ph. O. S. 357 und 364), dass das subjective Eigenlicht den Wirkungen der Ermüdung ebenso wie der Eindruck des äusseren Lichtes unterliege, ferner daran, dass die Annahme, nach welcher die in dem subjectiven Eigenlichte sich kundgebende, innere Erregung am Hirnende des Sehnerven stattfindet, nicht zu den Erscheinungen passt, welche auftreten, wenn durch einen schmalen Zuleiter Elektrizität in den Augennäpfel einströmt (vergl. Helmholtz, Ph. O. S. 840).

psychophysischer Deutung des Weber'schen Gesetzes ist der Empfindungsunterschied $s' - s'' = \alpha \log \frac{E'}{E''}$; und $E = \varphi(r)$ sei

wie immer die Formel, nach welcher die Erregung bei constanter, z. B. gleich 1 gesetzter, Erregbarkeit in der Weise von der Reizstärke abhängt, dass die E -Curve bei geringen Werthen von r gegen die Abscissenaxe convex ist, allmählich aber in eine annähernd gerade Linie übergeht. Nach obiger Auslassung Fechner's soll der Charakter der Function $\varphi(r)$ die Thatsache erklären, dass der Empfindungsunterschied $s' - s''$ bei unveränderter Intensität der Reize r' und r'' sich verringert, wenn die Reizbarkeit eine merkliche Herabminderung erleidet. Müssen wir nun, um dieses Resultat zu erhalten, wenn wir die Erregung E als abhängig von der Reizstärke und Reizbarkeit zugleich darstellen wollen, $E = R \cdot \varphi(r)$ oder $= \varphi(R \cdot r)$ setzen? Nehmen wir das Erstere an, so ist nach Fechner's Auffassung

$$s' - s'' = \alpha \log \frac{E'}{E''} = \alpha \log \frac{R \cdot \varphi(r')}{R \cdot \varphi(r'')} = \alpha \log \frac{\varphi(r')}{\varphi(r'')},$$

mithin $s' - s''$ allgemein ganz unabhängig von der Erregbarkeit. Setzt man hingegen $E = \varphi(R \cdot r)$, so ist, wenn $R = R'$ ist,

$$s' - s'' = \alpha \log \frac{\varphi(R' \cdot r')}{\varphi(R' \cdot r'')} \text{ und für den Fall, dass } R \text{ einen ge-}$$

ringeren Werth R'' besitzt, $= \alpha \log \frac{\varphi(R'' \cdot r')}{\varphi(R'' \cdot r'')}$. Gemäss der

Beschaffenheit der Function φ bleibt $\alpha \log \frac{\varphi(R \cdot r')}{\varphi(R \cdot r'')}$ annähernd

$$= \alpha \log \frac{\varphi(R' \cdot r')}{\varphi(R' \cdot r'')}, \text{ so lange die Producte } R \cdot r' \text{ und } R \cdot r'',$$

$R' \cdot r'$ und $R' \cdot r''$ eine gewisse, untere Grenze nicht überschreiten. Sobald aber die Werthe der beiden letzteren Producte wegen zu geringer Grösse von R' unter einen gewissen Werth herabgehen, ist die Function φ nicht mehr als eine Function annähernder Proportionalität zu betrachten, und der Empfindungsunterschied $s' - s''$ wird nun, da

$$\frac{\varphi(R' \cdot r')}{\varphi(R' \cdot r'')} < \frac{\varphi(R \cdot r')}{\varphi(R \cdot r'')}$$

wird, bei der Erregbarkeit R' kleiner, als er bei der Erregbarkeit R ist. Man erkennt hinlänglich, dass Fechner da, wo er die unteren Abweichungen vom Parallelgesetze zu erklären sucht,

es für ganz selbstverständlich betrachtet, dass, wenn bei constanter, z. B. gleich 1 gesetzter, Erregbarkeit $E = f(r)$ zu setzen sei, auch die Formel: $E = f(R.r)$, nicht aber die Formel: $E = R.f(r)$, Gültigkeit besitze. Fechner erklärt es mit keinem Worte für nothwendig oder auch nur für wünschenswerth, nachzuweisen, dass gerade in dem speciellen Falle, wo $E = \varphi(r)$ sei, der Einfluss der absoluten Empfindlichkeit auf die Reizwirkung durch eine Formel: $E = \varphi(R.r)$, nicht aber durch die Formel: $E = R.\varphi(r)$ anzudeuten sei. Wenn aber Fechner die Voraussetzung, welche kurz durch die allgemeine Formel: $E = f(R.r)$, sich andeuten lässt, als eine ganz selbstverständliche betrachtet, warum sollte die physiologische Deutung des Weber'schen Gesetzes, wenn sie findet, dass sie sich unter dieser Voraussetzung in vollem Einklange mit dem Parallelgesetze befindet, dieselbe Voraussetzung nicht auch machen dürfen?

§ 99.

Fassen wir nun das Maass der thatsächlichen Gültigkeit des Parallelgesetzes etwas näher in's Auge. Wir haben schon in § 43 und § 66 gesehen, dass Aubert einen Einfluss der Adaptation auf die Unterschiedsempfindlichkeit constatirt hat. So beträgt z. B. nach seinen Beobachtungen bei einer gewissen, geringen Helligkeit der eben merkliche relative Unterschied für das adaptirte Auge $\frac{1}{25}$, hingegen für das weniger empfindliche, nicht adaptirte Auge nur $\frac{1}{4}$. Derartige Beobachtungen scheinen ebenso wie die bekannte Thatsache, dass wir nach Eintritt aus dem Hellen in das Dunkle eine Zeit hindurch unfähig sind, sonst leicht erkennbare Helligkeitsunterschiede wahrzunehmen, darzuthun, dass es Abweichungen vom Parallelgesetze giebt, welche den unteren Abweichungen vom Weber'schen Gesetze entsprechen, insofern sie ergeben, dass der zwei gegebenen Reizintensitäten r' und r'' entsprechende Empfindungsunterschied $s' - s''$ bei verminderter Reizbarkeit gleichfalls ein geringerer sei. Als eine den oberen Abweichungen vom Weber'schen Gesetze entsprechende Abweichung vom Parallelgesetze ist die Thatsache zu betrachten, dass die Empfindlichkeit für Unterschiede mittlerer und beträchtlicher Helligkeiten nach längerem Aufenthalte im Dunkeln Anfangs eine sehr geringe ist und erst allmählich wieder die gewöhnliche Höhe erreicht.

Wie diese Abweichungen vom Parallelgesetze *) nach der psychophysischen Auffassung erklärt werden können, haben wir bereits im vorigen Paragraphen gesehen. Nach dieser Auffassung ist allgemein $E = \varphi(r)$; welcher Formel gemäss die Nervenenerregung für die mittleren Werthe von r den Reizstärken annähernd proportional geht, für die hohen und geringen Werthe von r aber bei constantem Reizzuwuchse langsamer wächst als für die mittleren Reizwerthe. Nehmen wir in diese Formel die Erregbarkeit R in der Weise als variable Grösse mit auf, dass wir $E = \varphi(R.r)$ setzen, so findet sich dem psychophysischen Gesetze gemäss $s' - s'' = x \log \frac{\varphi(R.r')}{\varphi(R.r'')}$. Aus dieser Gleichung und der

Beschaffenheit der Function φ ergibt sich, dass der Empfindungsunterschied $s' - s''$ sich merklich verringern muss, wenn die Reize r' und r'' nur mittlere oder geringe Intensität besitzen und die Erregbarkeit in beträchtlichem Maasse abnimmt oder die Reize r' und r'' von mittlerer oder hoher Intensität sind und die Erregbarkeit sich beträchtlich erhöht; was ganz den thatsächlich beobachteten Abweichungen vom Parallelgesetze entspricht. Nach der physiologischen Auffassung ist $E = k' \log \varphi(r)$, wo $\varphi(r)$ ganz dieselbe Function von r andeutet wie oben. Erweitert man diese Gleichung zu der Formel: $E = k' \log \varphi(R.r)$,

so kommt man, da nach der physiologischen Auffassung $s = \frac{x E}{k}$

ist, genau zu demselben Resultate, zu welchem man vom Standpunkte der psychophysischen Auffassung aus gelangt, nämlich zu dem Resultate, dass der Empfindungsunterschied

$$s' - s'' = x \log \frac{\varphi(R.r')}{\varphi(R.r'')}$$

also nur innerhalb gewisser Grenzen von der Reizbarkeit unabhängig ist.

Ebenso wie die psychophysische vermag also auch die physiologische Auffassung unter der Voraussetzung, dass jede Zunahme

*) Uebrigens stellten sich auch bei den Versuchen von Delboeuf (a. a. O. S. 63) Abweichungen von diesem Gesetze heraus. Auch die bekannte Thatsache, dass schwache Schatten bei andauernder Betrachtung schwinden und sofort wieder erscheinen, wenn das Auge bewegt wird und die Bilder auf weniger ermüdete Stellen der Netzhaut fallen, weist auf die unteren Abweichungen vom Parallelgesetze hin.

oder Abnahme der Erregbarkeit einer in constantem Verhältnisse stattfindenden Steigerung oder Verringerung der verschiedenen Reizstärken äquivalent wirke, die bisher constatirten Abweichungen vom Parallelgesetze durch die Art des functionellen Verhältnisses, in welchem die Sinnesnervenerregung zur Reizstärke und Erregbarkeit steht, hinlänglich zu erklären. Ob die thatsächlichen Verhältnisse jener Voraussetzung betreffs des Einflusses der Erregbarkeit auf die Wirkungen der verschiedenen Reizstärken, aus welcher eine gewisse Gültigkeit des Parallelgesetzes nothwendig folgt, ganz genau entsprechen, lässt sich zur Zeit noch nicht mit Sicherheit entscheiden. W. Schön (Arch. f. Ophth. XX, 2, S. 273 ff.) hat Versuche angestellt, um die Triftigkeit jener Voraussetzung zu prüfen. Als Resultat seiner Versuche, deren Zulänglichkeit uns jedoch etwas zweifelhaft erscheint, giebt er an, dass eine gewisse Abstumpfung der Netzhaut für die geringeren Reizintensitäten mit einer Abschwächung der Reizstärke äquivalent sei, welche in grösserem Verhältnisse stattfinde als die Verminderung der Reizstärke, mit welcher dieselbe Netzhautermüdung für die höheren Reizintensitäten gleichwerthig sei. Dasselbe Resultat ergiebt sich, wie Schön mit Recht behauptet, aus den ähnlichen Versuchen C. F. Müller's.*) Hingegen finden wir bei Helmholtz (Ph. O. S. 362 f.) folgende Bemerkung: „Aus dem Umstande, dass die negativen Nachbilder bei steigender Helligkeit des reagirenden Lichtes so lange deutlicher werden, bis diese Helligkeit etwa den Grad erreicht hat, wo Verminderung der Lichtstärke um kleine Bruchtheile ihrer ganzen Grösse am besten wahrgenommen wird, können wir schliessen, dass die Ermüdung der Sehnervensubstanz die Empfindung neu einfallenden Lichtes ungefähr in dem Verhältniss beeinträchtigt, als wäre die objective Intensität dieses Lichtes um einen bestimmten Bruchtheil ihrer Grösse vermindert. Es sei H die scheinbare Helligkeit des reagirenden Lichtes in den nicht ermüdeten Netzhautstellen, αH in den ermüdeten, wo $\alpha < 1$, und J die scheinbare Helligkeit des positiven Bildes, so muss nach dem oben Gesagten bei wechselnder Grösse von H α ziemlich constant sein.“

*) C. F. Müller, Versuche über den Verlauf der Netzhautermüdung Inauguraldiss., Zürich 1866.

5. Capitel.

Die Abhängigkeit der Tonhöhe von der Schwingungszahl.

§ 100.

Ausser der Reizschwelle und dem Parallelgesetze führt Fechner für seine Deutung des Weber'schen Gesetzes auch noch an, dass sich das psychophysische Gesetz im Gebiete der Tonhöhen genau bestätigt finde (Ueber die Frage etc. S. 11). „Bestätigt sich nun“, so fährt er fort, „das Gesetz im einen Falle allgemein und genau, wo weder Gründe der Abweichung vorliegen noch überhaupt wahrscheinlich sind, im anderen Falle approximativ in Grenzen, wo die grösste Approximation mit Wahrscheinlichkeit vorauszusetzen ist, so kann es mit Rücksicht auf die vorliegenden und denkbaren Gründe der Abweichung auch zweitenfalls als Gesetz für den Fall acceptirt werden, dass man die Gründe der Abweichung wegdenkt. In der That aber liegt kein Grund vor, dass die Zahl der äusseren Schwingungen nicht eine entsprechende Zahl innerer Schwingungen auslösen sollte, während die Proportionalität der Intensität des Reizes und der dadurch ausgelösten psychophysischen Thätigkeit nicht gleich wahrscheinlich ist.“ Aehnlich äussert sich Fechner auch anderwärts (Ps. II, S. 430 f.). Dieser Argumentation gegenüber haben wir zunächst nur die Frage, worauf man denn eigentlich die Behauptung stütze, dass das Weber'sche Gesetz (in erweiterter Fassung) auch für die Empfindungen der Tonhöhen gelte. Fechner führt (Ps. I, S. 181) nur an, dass betreffs der Tonhöhen Weber einerseits und Euler, Herbart und Drobisch andererseits derselben Ansicht, auf welcher er fusse, gewesen seien, und dass es zur Bestätigung des Gesetzes in dieser Hinsicht nicht erst besonderer Versuche bedürfe, da es die einfache und, so zu sagen, notorische Aussage des musikalischen Gehöres sei, dass gleichen Verhältnissen der Schwingungszahlen eine als gleich gross empfundene Tondifferenz in verschiedenen Octaven entspreche, so dass man das psychophysische Gesetz hier directer als sonst irgendwo und zwar für grosse Unterschiede erwiesen halten könne. — Wie kommt Fechner zu dieser Behauptung, dass es eine notorische Aussage des musikalischen Gehöres sei, dass

gleichen Verhältnissen der Schwingungszahlen in verschiedenen Octaven eine gleich gross empfundene Differenz der Tonhöhe entspreche? Auf eigene Versuche oder Beobachtungen Anderer, etwa hervorragender Künstler, bezieht er sich offenbar nicht, und eben so wenig wie Fechner haben auch Euler, Herbart und Drobisch ihre Ansicht über die Art des zwischen Tonhöhe und Schwingungszahl bestehenden functionellen Verhältnisses experimentell zu begründen gesucht. Vielmehr haben, wie es scheint, alle diese Forscher sowie auch Fechner geglaubt, dass ihre Ansicht durch folgende Thatsache bereits hinlänglich begründet werde. Wenn wir uns auf die Höhenunterschiede verschiedener Töne beziehen, so sprechen wir allgemein von Intervallen, welche sie bilden, oder welche zwischen ihnen liegen. Für diese Intervalle bedienen wir uns innerhalb der verschiedenen Bereiche von Tonhöhen der bekannten Namen der Octave, Quinte, Quarte u. s. w. und zwar bezeichnen wir innerhalb der verschiedensten Höhengebiete ein Intervall zwischen 2 Tönen mit einem und demselben Namen, nicht wenn die Differenz, sondern wenn das Verhältniss der Schwingungszahlen der Schallreize ein und dasselbe ist. Scheint es hiernach und nach der ganzen Einrichtung unserer Tonleitern, unserer Claviere u. dergl. m. nicht, als ob der empfundene Höhenunterschied zweier Tonempfindungen immer gleich gross sei, wenn das Verhältniss der entsprechenden Schwingungszahlen dasselbe ist? Uns will ein solcher Schluss so lange ungerechtfertigt erscheinen, als nicht gezeigt ist, dass bei Anordnung der Tonhöhenreihe, ähnlich wie bei der Eintheilung der Sterne in Grössenklassen, der Gesichtspunkt maassgebend gewesen sei, dass Tonhöhen durch ein gleiches Intervall zu trennen seien, wenn die Merklichkeit ihres Höhenunterschiedes gleich gross sei. Wir versuchen kurz und zwar zunächst in Anschluss an die hierauf bezüglichen Ausführungen Helmholtz's (Tonempf. S. 401 ff., 564 ff.) die Frage zu beantworten, ob es sich in der Weise verhalte, wie Fechner und jene anderen Forscher voraussetzen scheinen.

Soll durch eine Reihe auf einander folgender Klänge ein ästhetischer Eindruck bewirkt werden, so ist es aus verschiedenen Gründen erforderlich, dass man sich im Allgemeinen nur einer bestimmten Anzahl discreter Tonstufen bediene; und wir finden auch thatsächlich alle musicirenden Völker trotz der sonstigen Verschiedenheiten ihrer Tonsysteme und musikalischen Stil-

principien darin in Uebereinstimmung, dass sie von den unendlich vielen continuirlich in einander übergehenden Graden der Tonhöhe nur gewisse Stufen ausscheiden, welche die Tonleiter bilden, in der sich die Melodie bewegt. Es erhebt sich nun die Frage, welcher Umstand bei Aufstellung einer Tonleiter maassgebend sein können, um von den unendlich vielen Tonschritten, die von einer gegebenen Tonhöhe aus möglich sind, die Schritte zu einigen wenigen ganz bestimmten Tonhöhen zu bevorzugen. Nun sind von den unendlich vielen Stufen der Tonhöhenreihe einige wenige dadurch in ein bestimmtes charakteristisches Verhältniss zu einem gegebenen Ausgangstone gesetzt, dass sie einen oder mehrere der Theiltöne mit ihm gemeinsam haben und ihm dadurch verwandt sind. Es liegt daher die Vermuthung nahe, dass, ebenso wie die Verwandtschaft der Klänge und Accorde in unserer modernen Musik das bindende Princip aller musikalischen Compositionen ist, die Klangverwandtschaft auch da das maassgebende Princip gewesen sei, wo es sich darum handelte, beim Aufbau der Tonleitern zu einem gegebenen Tone eine beschränkte Anzahl anderer Tonstufen hinzuzufügen. Ist diese Vermuthung richtig, so wird vorauszusetzen sein, dass diejenigen Intervalle, welche durch eine sehr starke Verwandtschaft der sie bildenden Klänge ausgezeichnet sind, sich in den Tonsystemen sämmtlicher Völker und Zeitalter vorfinden und Verschiedenheiten dieser Tonsysteme nur insoweit existiren, als die Verwandtschaft der Klänge, welche bestimmte Intervalle bilden, eine nur wenig merkbare ist. Und eben dies ist in der That der Fall. Das Intervall der Octave ist dadurch ausgezeichnet, dass der höhere der beiden Klänge im Wesentlichen nur eine Wiederholung der Theiltöne des tieferen Klanges ist, und von sämmtlichen Tonschritten, die innerhalb einer Octave möglich sind, ist das Intervall der Quinte und nächstdem das der Quarte dasjenige, welchem die stärkste Verwandtschaft der Intervall bildenden Klänge entspricht. Demgemäss findet sich thatsächlich das Intervall der Octave in den Tonskalen aller Völker und Zeitalter vor; dasselbe gilt von dem Intervalle der Quinte, und die unvollkommene Wiederholung des Eindruckes, welche stattfindet, wenn die Quinte eines Klanges angegeben wird, hat sogar die Griechen veranlasst, die Breite einer Octave noch einmal in 2 äquivalente Abschnitte, 2 sogenannte Tetrachorde, zu theilen, deren zweiter eine Wiederholung des ersten

ist, eine Quinte höher verlegt. Auch die Quarte findet sich in fast allen Tonsystemen. Hingegen ist die Ausfüllung der Zwischenräume, welche übrig bleiben, wenn man die Tonskala in Octaven eintheilt und von dem tiefsten Tone jeder Octave aus den Tonschritt der Quarte und der Quinte ausführt, in den verschiedenen Tonsystemen in verschiedener Weise versucht worden.

Man wird schwerlich im Stande sein, im Gegensatze zu diesen Ausführungen nachzuweisen, dass die oberste Haupteintheilung der musikalischen Tonleitern, nämlich die Eintheilung derselben in eine Reihe von Octaven, welcher Eintheilung gemäss die Tonfolgen sämtlicher Octaven einander genau entsprechen, und die von den Griechen gemachte, analoge Eintheilung jeder Octave in 2 Tetrachorde sich durch die Annahme erklären lasse, dass bei Construction der Tonleitern das „Princip der gleich grossen Stufen“, d. h. das Princip maassgebend gewesen sei, gleich zu benennende Intervalle da anzunehmen, wo die Empfindung des Höhenunterschiedes dieselbe sei. Hätte die Anordnung der Tonleitern nach diesem Principe stattgefunden, dann wären nicht die 3 weiten Intervalle der Octave, Quinte und Quarte diejenigen gewesen, welche bei allen Völkern, so zu sagen, das Gerüste bildeten, in das sich die anderen Intervalle einfügten, sondern, da, wie Helmholtz (Tonempf. S. 419) bemerkt, ein Intervall desto leichter und sicherer in 2 Tonstufen von gleichem Unterschiede der Höhe rein nach der Empfindung dieser Höhenunterschiede eingetheilt wird, je enger es ist, so wäre die Reihe der Tonreihen in der Weise gebildet und mit hervorragenden Punkten versehen worden, dass man von einem bestimmten Tone, etwa dem tiefsten der musikalisch brauchbaren Töne, ausgehend den Ton aufgesucht hätte, der mit dem als Ausgangspunkt dienenden Tone das geringste der musikalisch verwendbaren Intervalle bildete, dann, nachdem dieser Ton festgestellt war, den Ton zu bestimmen suchte, welcher um eben denselben Höhenunterschied von dem zweiten Tone verschieden erschien u. s. f. Kurz, stände das Weber'sche Gesetz mit der Construction der Tonleitern in näherem Zusammenhange, so hätten sich die grösseren Intervalle wie die Quinte und Octave durch Zusammenlegung der kleineren bilden müssen, und die kleineren Intervalle der Viertel-, halben und ganzen Töne hätten, so zu sagen, die in sich festeren und sichereren Bausteine sein müssen,

vermittelst deren die Bildung der grösseren Intervalle und überhaupt der Aufbau der Tonleitern stattfand, und die verschiedenen Tonsysteme müssten demgemäss nicht nur hinsichtlich der kleineren Zwischenstufen, sondern vielmehr erst recht auch hinsichtlich der grösseren Haupteintheilungen der Tonhöhenreihe unter einander differiren. In Wirklichkeit aber verhält es sich, wie eine kurze Betrachtung der verschiedenen, bis zur neuesten Zeit gebildeten Tonleitern leicht zeigt, gerade umgekehrt.

§ 101.

Wenn nun auch die verschiedenen Nationen und Zeitalter bei Anordnung der Tonleitern betreffs der Tonstufen, welche zwischen die 3 grösseren Intervalle der Octave, Quinte und Quarte einzuschieben waren, in verschiedener Weise verfahren sind, so ist doch im Allgemeinen auch bei Ausfüllung dieser Zwischenräume das Princip der Klangverwandtschaft ersten und zweiten Grades (vergl. Helmholtz, Tonempf. S. 407 ff., S. 565 ff.) maassgebend gewesen, wie Helmholtz's Ausführungen hinlänglich zeigen. Doch glaubt Helmholtz auch bemerken zu müssen, dass in Folge der Schwierigkeit, Klänge geringerer Verwandtschaft als verwandt zu erkennen, bei der Eintheilung der Skala in den Anfängen der Musik und noch jetzt, wie es scheine, bei den weniger cultivirten Völkern das Princip der gleich grossen Stufen mit zu Hülfe gezogen worden sei, um die kleineren Intervalle zu theilen, indem man versucht habe, gleich grosse Zwischenstufen nach dem Gehör zu unterscheiden, so dass die wahrnehmbaren Unterschiede der Tonhöhe gleich gross ausfielen. Für die Eintheilung der Quarte habe sich allerdings ein solcher Versuch nie dauernd gegen das Gefühl der Verwandtschaft der Intervalle gehalten, wenigstens nicht in der künstlerisch ausgebildeten Musik. Aber für die Theilung kleinerer Intervalle finde sich dieses Theilungsprincip als Aushülfe doch an manchen Stellen der weniger gebräuchlichen griechischen Tetrachordeintheilungen und in den Skalen der orientalischen Völker angewandt. Doch seien überall diese willkürlichen Theilungen, welche nicht auf Verwandtschaft der Klänge beruhen, in dem Maasse geschwunden, als sich die Musik als Kunst zu reinerer Schönheit entwickelt habe. — Man wird nun vielleicht sagen wollen, dass, wenn die Tonhöhenempfindung der Schwingungs-

zahl des äusseren Reizes genau oder annähernd proportional ginge, alsdann da, wo jenes von dem Principe der Klangverwandtschaft abweichende Theilungsprincip zur Anwendung gekommen sei, innerhalb der verschiedenen Octaven eine etwas andere Theilung der Skala hätte stattfinden müssen. Denn wenn man z. B. innerhalb einer bestimmten Octave das zwischen das Intervall einer natürlichen kleinen Terz einzuschiebende, kleinere Zwischenintervall so gross genommen gehabt hätte, dass die Differenz zwischen der Schwingungszahl des eingeschobenen Tones und der Schwingungszahl jedes der beiden Nachbartöne gleich d gewesen sei, so hätte man, wenn Proportionalität zwischen Schwingungszahl und Höhenempfindung bestände, das entsprechende Terzenintervall der nächsthöheren Octave in die doppelte Anzahl von Zwischenstufen eintheilen müssen, weil in der höheren Octave diesem Intervalle eine doppelt so grosse Differenz der Schwingungszahlen als in der tieferen Octave entspreche und mithin innerhalb desselben nicht bloss 2, sondern 4 Zwischenstufen möglich seien, denen eine Schwingungszahldifferenz d zugehöre. Da nun aber nirgends die Theilung der Skala innerhalb verschiedener Octaven verschieden ausgefallen sei, so müsse offenbar der empfundene Unterschied zweier Tonhöhen gleich gross sein, wenn das Verhältniss der Schwingungszahlen dasselbe sei.

Sehen wir ganz davon ab, dass mindestens die meisten jener Tonleitern, bei deren Anordnung nach Helmholtz's Ansicht das Princip der gleich grossen Stufen zur Ausfüllung kleinerer Intervalle mit verwandt worden ist, den Umfang einer Octave gar nicht überschritten haben, so ist zunächst hervorzuheben, dass es sich in jenen Fällen immer um Ausfüllung kleinerer Intervalle als des Intervalles der Quarte gehandelt hat, wie auch die von Helmholtz (Tonempf. S. 418 f.) angegebenen Beispiele zeigen. Dass man nun derartige kleine Zwischenstufen innerhalb der verschiedenen Octaven in gleicher Anzahl annahm, erklärt sich hinlänglich daraus, dass da, wo es sich darum handelte, solche Zwischenstufen einzuschieben, die von den Verhältnissen der Schwingungszahlen abhängigen, in jeder Octave regelmässig wiederkehrenden Intervalle der Octave, Quinte, Quarte, grossen Terz und grossen Sexte als nothwendige Bestandtheile der Tonskala bereits erkannt waren und es hierdurch sehr nahe gelegt war, auch jene Zwischenintervalle von den Verhältnissen der

Schwingungszahlen oder vielmehr Saitenlängen und zwar von möglichst gleichen Verhältnissen derselben abhängig zu machen und mithin innerhalb der verschiedenen Octaven in gleicher Zahl und an ganz entsprechenden Orten anzunehmen. Die musikalische Praxis hätte auch eine Anordnung der Tonleiter, bei welcher gewisse Intervalle innerhalb der verschiedenen Octaven verschieden ausgefüllt waren, schwerlich aufkommen lassen. Bei solcher Anordnung der Tonleiter würden gewisse Töne der Skala keine untere Octave, keine Unter- und Oberquinte u. dergl. besitzen, in Folge dessen — von der Unmöglichkeit ihrer Verwendung in mehrstimmiger Musik ganz abgesehen — fast ganz isolirt unter den übrigen mit einander durch Klangverwandtschaft verbundenen Tönen der Skala dastehen und deshalb in einer guten Melodie, die sich über eine grössere Anzahl von Tonstufen erstreckt, kaum wohl verwendbar sein. Es kann daher aus dem Umstande, dass jene Zwischenstufen einiger kleinerer Intervalle gewisser Tonskalen gleichfalls von den Verhältnissen der Schwingungszahlen abhängig sind, betreffs des zwischen Tonhöhenempfindung und Schwingungszahl bestehenden Verhältnisses durchaus nichts erschlossen werden, weil sich dieser Umstand auch ohne die Annahme, dass bei Einschlebung jener kleineren Intervalle das Princip der gleich grossen Stufen maassgebend gewesen sei, hinlänglich erklären lässt.

§ 102.

Wir wollen noch einmal kurz die Frage stellen: können wir ohne Zuhülfenahme der Annahme, dass die Empfindung der Tonhöhe wie der Logarithmus der Schwingungszahl des Schallreizes wachse, erklären, wie es gekommen ist, dass man solche Intervalle mit gleichem Namen benennt, denen gleiche Verhältnisse der Schwingungszahlen entsprechen, warum ferner z. B. auf dem Claviere zwischen je 2 Tasten, deren Anschlag Töne hervorruft, deren Schwingungszahlen in constantem Verhältnisse zu einander stehen, allemal eine und dieselbe Anzahl von Zwischenstufen fällt u. dergl. m.? Diese Thatsachen lassen sich unserer Ansicht nach auch ohne die angeführte Annahme, z. B. unter Voraussetzung genauer Proportionalität zwischen Tonhöhenempfindung und Schwingungszahl, hinlänglich erklären. Für die melodischen Folgen und die Zusammenklänge der Musik ist vor

Allem dies wesentlich, ob die einzelnen Klänge verwandt und die Accorde consonant oder dissonant sind. Die Verwandtschaft auf einander folgender und die Consonanz gleichzeitiger Klänge hängt aber von der Übereinstimmung gewisser Theiltöne der Klänge und dem damit verbundenen Ausbleiben merkbarer Schwebungen beim Zusammenklänge ab und ist gänzlich unabhängig davon, welcher empfundene Höhenunterschied den betreffenden Klängen entspricht. *) Hiernach machen, weil die Gemeinsamkeit gewisser Theiltöne an bestimmte Verhältnisse der Schwingungszahlen gebunden ist, Klänge, deren Schwingungszahlen in einem bestimmten Verhältnisse stehen, innerhalb der verschiedensten Octaven, mögen ihre absoluten Schwingungszahlen sein, welche sie wollen, im Allgemeinen bei ihrer Aufeinanderfolge immer denselben Eindruck der Verwandtschaft, bei ihrer Gleichzeitigkeit denselben Eindruck der Consonanz oder Dissonanz. **) Was hätte es nun unter solchen Umständen, auch wenn Proportionalität zwischen Schwingungszahl und empfundener Tonhöhe vorausgesetzt wird, für Sinn gehabt, wenn man z. B. die Intervalle $C—c$, $c—g$, $g—c^1$ u. s. f., welchen allen ganz verschiedene musikalische Bedeutung und Verwendung zukommt, mit einem und demselben Namen benannt hätte, deswegen, weil die absolute Differenz der Schwingungszahlen dieser Töne immer dieselbe, nämlich 64, ist? Was hätte es, auch unter Voraussetzung jener Proportionalität, für Nutzen, wenn jede Octave immer doppelt so viele Tonstufen enthielte als die nächsttiefere, wenn in jeder Octave so und so viele Töne existirten, denen keine untere Octave, keine Unterquinte u. s. w. entspräche, so und so viele Töne nicht mit dazu verwendet werden könnten, gewisse consonante Dreiklänge zu bilden u. dergl. m.? Hätte man je den Versuch gemacht, die Skala in solcher Weise zu construiren, die musikalische Praxis hätte sehr bald alle jene Töne, denen keine untere Octave, keine Unterquinte u. dergl. entsprach, als unnütze und unbrauchbare aus der Tonleiter entfernt und dieser die Gestalt gegeben, bei welcher gleiche Inter-

*) Hiermit behaupten wir natürlich nicht, dass die musikalische Wirkungsfähigkeit einer Tonfolge oder eines Accordes von dem empfundenen Höhenunterschiede der einzelnen Klänge unabhängig sei. — **) Das Obige ist insofern nicht ganz richtig, als gleiche Intervalle keineswegs in allen Gegenden der Skala gleich deutliche Schwebungen geben.

valle von gleichen Verhältnissen der Schwingungszahlen abhängig erscheinen.

Kurz, die Anordnungsweise unserer Tonleitern kann uns über das zwischen Schwingungszahl und Tonhöhe bestehende functionelle Verhältniss keine Auskunft geben, weil der Aufbau der Tonskalen nicht im Geringsten durch psychologische oder psychophysische Gesichtspunkte, sondern nur durch das musikalische Bedürfniss und ästhetische Principien, im Allgemeinen durch das Princip der Klangverwandtschaft bestimmt worden ist.*) Dieser Ansicht widerspricht nun Wundt (Ph. Ps. S. 364), indem er Folgendes bemerkt: „Die Ordnung der Töne nach dem Gesetze der Tonskala ist ein Product der unmittelbaren Auffassung der Tonverhältnisse; sie kann nicht erst durch Nebenbedingungen, z. B. durch begleitende Partialtöne von übereinstimmender Höhe, veranlasst sein. Denn solche Nebenbedingungen können wechseln, ohne dass dadurch die Bestimmung der Tonintervalle sich ändert. Wir fassen diese bei reinen Tönen genau in derselben Weise wie bei Klängen von mehr oder minder zusammengesetzter Beschaffenheit auf. Die Ordnung der Tonreihe muss also darauf beruhen, dass wir an Octave und Grundton, Quinte und Grundton u. s. w. immer dieselben Unterschiede der Empfindung erkennen, welche absolute Höhe die Töne auch haben mögen.“ Wenn Wundt hier und in der Anmerkung zu dieser Auslassung die Ansicht, nach welcher die Anordnung der Tonleitern hauptsächlich nach dem Principe der Klangverwandtschaft erfolgt ist, deswegen für widerlegt erachtet, weil nach derselben unser Gefühl für die Intervalle mit der Klangfarbe des Instrumentes wechseln und bei reinen Tönen ganz fehlen müsste, so haben wir, ganz abgesehen davon, dass gemäss

*) Auffallender Weise betrachtet auch Helmholtz die Gültigkeit des psychophysischen Gesetzes für die Tonhöhen als gewiss (vergl. Helmholtz, Ph. O. S. 312, und insbesondere Tonempf., S. 407, 419 und 564, wo Helmholtz davon spricht, dass bei dem Aufbau der Tonleitern neben dem Principe der Klangverwandtschaft hier und da auch das Princip der gleich grossen Stufen zur Anwendung gekommen sei). Ueberhaupt wird fast allgemein behauptet, dass das Weber'sche Gesetz im Gebiete der Tonhöhen auf „eclatante“ Weise bestätigt werde; man vergl. z. B. Liebmann in den Philos. Monatsheften, V, S. 12; Vierordt, Der Zeitsinn nach Versuchen, S. 161, u. A. m. Skeptischer sind die Ausführungen von Langer (a. a. O. S. 73 ff.).

der Einrichtung unseres Gehörorganes selbst die einfachen Töne immer schwache harmonische Obertöne mit sich führen*), hiergegen anzuführen, dass unserer Erfahrung nach die hier von Wundt in Abrede gestellte Thatsache in gewissem Maasse wirklich stattfindet. Wenn man sich eingeübt hat, die verschiedenen, auf dem Claviere innerhalb einer Octave möglichen Intervalle mit Sicherheit wiederzuerkennen und richtig zu bezeichnen, wenn sie von einer zweiten Person angegeben werden, so erweist sich diese Fertigkeit thatsächlich als unzureichend, wenn man dazu übergeht, sie auch an dem Harmonium oder der Violine zu erproben. Auch Helmholtz (Tonempf. S. 321) bemerkt, dass man beim Hören der einfachen Töne der weiten gedackten Orgelpfeifen das sichere Gefühl für den Unterschied der Intervalle verliere. Vor Allem aber vergleiche man die Ausführungen Helmholtz's auf S. 451—453 des Werkes über die Tonempfindungen, wo derselbe in treffender Weise hervorhebt, dass bestimmte melodische Schritte, wenn sie vermittelt einfacher Töne ausgeführt werden, einen weit anderen, ärmlicheren und, so zu sagen, weniger individuellen Eindruck machen, als wenn sie von den vollkommeneren musikalischen Instrumenten ausgeführt werden, vermöge des Sinnesgedächtnisses aber doch auch in solchen Fällen als die oft gehörten Schritte von wohlbekannter Weite erkannt werden. Uebrigens ist es uns gänzlich unmöglich, die obige Auslassung Wundt's, durch welche „die Meinung widerlegt“ werden soll, „die Ordnung der Tonhöhe beruhe auf denselben Ursachen wie die . . . Klangverwandtschaft, nämlich darauf, dass die Tonintervalle bestimmter Klänge stets gewisse Partialtöne gemeinsam haben“, mit einer auf der unmittelbar vorhergehenden Seite befindlichen, anderen Auslassung Wundt's in Uebereinstimmung zu bringen, wo sich derselbe folgendermaassen äussert: „Die musikalische Skala entnimmt der stetig abgestuften Reihe der Tonempfindungen bestimmte Stufen; sie substituirt auf diese Weise dem stetigen Continuum der Tonhöhen ein discretum, indem sie die Uebergänge zwischen den einzelnen von ihr ausgewählten Tonstufen überspringt. Die Auswahl der Tonstufen wird zunächst durch Regeln

*) Vergl. Helmholtz, Tonempf. S. 249, und J. J. Müller, in den Berichten über die Verhandl. der K. Sächs. Ges. d. W. von 1871, S. 115 ff.

bestimmt, welche auf die später zu erörternden Gesetze der Klangverwandtschaft gegründet sind.“

§ 103.

Auf einen Punkt möchten wir hier noch eingehen, nämlich darauf, dass selbst dann, wenn wirklich bei unmittelbarer Beobachtung ein Intervall, dem ein constantes Verhältniss der Schwingungszahlen entspricht, auf verschiedenen Höhenstufen den Eindruck gewisser Gleichheit machen sollte, nicht unbedingt darauf zu schliessen sein würde, dass die der Tonhöhe entsprechende Modification unserer Klangempfindung sich wie der Logarithmus der Schwingungszahl ändere. Wenn uns die Intervalle der Octave, Quinte und Quarte, der Terzen und Sexten auf verschiedenen Höhenstufen gleich gross erscheinen, wenn wir, wie Lotze sich ausdrückt, beim Uebergange von einem Tone zu dessen Octave den Eindruck einer undefinirbaren Verschmelzung von Gleichheit und Steigerung bekommen, durch welchen Eindruck sich das Intervall der Octave von den anderen Intervallen merklich unterscheidet, und Entsprechendes auch von der Quinte und jenen anderen Intervallen gilt, so scheint sich dies durch die Gemeinsamkeit gewisser Theiltöne*) und die hierdurch begründete Verwandtschaft der Klänge, welche jene Intervalle bilden, hinlänglich zu erklären, indem die Coincidenz gewisser Theiltöne von nicht allzu hoher Ordnungszahl einen annähernd gleichartigen Eindruck zu machen scheint, mögen die beiden, gleichzeitig oder nach einander ertönenden, Klänge, denen die mit einander zusammenfallenden Theiltöne zugehören, diesem oder jenem Theile der Tonleiter angehören. Nach dieser Erklärungsweise muss ein Intervall um so leichter und sicherer erkannt werden, je zahlreicher und von je geringerer Ordnungszahl die mit einander zusammenfallenden Theiltöne der das Intervall bildenden Klänge sind. Diese Schlussfolgerung wird durch die Versuche Preyer's (Ueber die Grenzen der Tonwahr-

*) Auf den Versuch Fechner's (Ps. II, S. 179 ff.) den Eindruck der Periodicität, den wir beim Aufsteigen in der Tonleiter haben, auf andere Weise als unter Bezugnahme auf das periodische Zusammenfallen der Partialtöne zu erklären, gehen wir hier gar nicht ein, da dieser sehr wenig glückliche Versuch bisher auch nicht die geringste Berücksichtigung gefunden hat.

nehmung, S. 57 f.), der „die Empfindlichkeit des Intervallensinnes“ am grössten für die Octave, weniger gross für die Quinte und Quarte, noch kleiner für die grosse Terz und grosse Sexte und am kleinsten für die kleine Terz und kleine Sexte fand, und durch die oben angeführte Bemerkung Helmholtz's, dass man beim Hören der einfachen Töne der weiten gedackten Orgelpfeifen das sichere Gefühl für den Unterschied der Intervalle verliere, wohl bestätigt. Allein man wird uns einwenden, dass nicht jedem Intervalle, welches uns auf verschiedenen Höhenstufen gleich gross erscheine, die Coincidenz gewisser Theiltöne der Klänge entspreche, die das Intervall bilden. Wir machen daher als weitergehendes, für alle Intervalle gültiges Erklärungsprincip das Folgende geltend.

Von Jugend auf sind wir gelehrt und gewöhnt, gemäss der Anordnung der Tonleitern die Intervalle der Secunden, Terzen u. s. w. in den verschiedenen Höhenbereichen mit denselben Namen zu bezeichnen, für gleich gross und gleichwerthig zu halten. Wenn uns daher jetzt jedes Intervall auf den verschiedensten Höhenstufen den Eindruck eines gleichen Höhenunterschiedes darzubieten scheint — was aber nicht einmal immer der Fall ist —, so ist hieraus eben so wenig zu schliessen, dass die empfundene Tonhöhe dem Logarithmus der Schwingungszahl proportional gehe, als wir berechtigt sind, aus der Thatsache, dass uns unsere Hand oder ein anderer Gegenstand in doppelter oder dreifacher Entfernung vom Auge nicht auf $\frac{1}{4}$ oder $\frac{1}{6}$ seiner Grösse herabgebracht, sondern fast gleich gross wie in einfacher Entfernung erscheint, darauf zu schliessen, dass das Netzhautbild des gesehenen Gegenstandes bei den verschiedenen Abständen desselben fast gleich gross sei. Dieser Gesichtspunkt bedarf heutzutage, wo der Einfluss, den die Gewohnheit auf unser Urtheil über die zwischen gegebenen Empfindungen stattfindenden Beziehungen ausübt, hinlänglich anerkannt ist, keiner weiteren Ausführung.

Zwischen Gehör- und Stimmorgan ist ferner schon mehrfach ein näherer Zusammenhang angenommen worden. So hat auch Lotze (Art. Seele und Seelenleben, S. 233) die Vermuthung ausgesprochen, dass die Affection im Centralorgane des Gehörsinnes, welche der Vorstellung einer Schallempfindung entspreche, nicht leicht für sich selbst erweckbar sei, sondern erst zum Vorschein komme, wenn die Gefühle intendirter Bewegungen des

Stimmorganes sie verstärken. In der That, man versuche nur einmal einen gehörten Klang oder eine Reihe bestimmter Klänge ohne gleichzeitige Intentionen zu entsprechenden Bewegungen des Stimmorganes sich zu vergegenwärtigen. Es wird dies, wenigstens unseren Beobachtungen nach, entweder nie gelingen oder nur zuweilen unmittelbar nach der sinnlichen Wahrnehmung des betreffenden Tones, wo es sich also um ein sogenanntes Erinnerungsnachbild (vergl. Fechner, Ps. II, S. 491 ff.) handelt. Wenn es daher gilt, die Grösse eines z. B. auf dem Claviere angegebenen Intervalles zu bestimmen, so sucht man sich die Weite desselben meist dadurch näher zu vergegenwärtigen, dass man dasselbe in gleicher oder höherer oder tieferer Lage vermittelt leiser Bewegungen der Stimmwerkzeuge für sich wiederholt. Bei solcher Verknüpfung der Tonhöhenempfindungen und der Muskelgefühle des Stimmorganes bedarf es bloss noch der Annahme, dass es, um mittels unserer Stimmwerkzeuge ein bestimmtes Intervall zu reproduciren, einer Steigerung der dem Spannungszustande der Stimmbänder entsprechenden Muskelempfindungen bedürfe, welche uns annähernd gleich gross erscheine, möge das betreffende Intervall auf dieser oder jener Stufe der Höhenskala gebildet werden. Auch durch diese Annahme, welche bei der sonstigen annähernden Gültigkeit des Weber'schen Gesetzes für den Muskelsinn gar nicht unmöglich erscheint, würde es sich leicht erklären, warum uns ein bestimmtes Intervall, dem ein constantes Verhältniss der Schwingungszahlen entspricht, auf verschiedener Höhenstufe denselben Eindruck zu machen scheint. Aehnlich wie uns die Muskelgefühle der Augenmuskeln bei der räumlichen Anordnung der Gesichtseindrücke behülflich sind, so unterstützen uns nach dieser Annahme auch die mit den Klangempfindungen verknüpften Empfindungen der Spannungszustände der Stimmbänder oder der diese Spannungszustände bewirkenden Muskelcontractionen bei Einreihung der Klänge in die Skala der Tonhöhen, namentlich da, wo das Princip der Klangverwandtschaft nicht mehr ausreicht.

§ 104.

Die im Vorstehenden angedeutete, auf die thatsächliche Verknüpfung der Tonhöhenempfindungen mit gewissen Bewegungen

der Stimmwerkzeuge begründete Hypothese*) näher zu entwickeln, schien uns wenig geboten. Denn erstens möchten wir nach unseren eigenen Erfahrungen thatsächlich nicht einmal die Behauptung wagen, dass ein Intervall, dem ein constantes Verhältniss der Schwingungszahlen entspreche, auf verschiedenen Höhenstufen wirklich immer gleich gross erscheine. Zweitens lässt sich zur Zeit noch gar nicht entscheiden, inwieweit die Verwandtschaft der Klänge und unsere Gewohnheit, Intervalle, die von Klängen gebildet werden, deren Schwingungszahlen in constantem Verhältnisse stehen, für gleichwerthig zu betrachten, zur Erklärung der Fälle hinreichen, in denen uns solche Intervalle auf verschiedenen Stufen der Tonskala den gleichen Eindruck zu machen scheinen. Vor Allem scheint uns ganz ausser Frage zu stehen, dass wir über die Grösse der Höhenunterschiede, welche die bekannten Intervalle der Octave, Quinte u. s. w. darbieten, die wir vielfach gelehrt und gewohnt sind, wiederzuerkennen und selbst zu bilden, gar nicht unbefangen zu urtheilen vermögen; und man kann fast sagen, dass, je grösser die musikalische Bildung des Beobachters sei, desto weniger Werth auf ein Urtheil desselben über die Gleichheit oder Ungleichheit zweier solcher übermerklicher Höhenunterschiede zu legen sei. Stellt man an einen musikalisch gebildeten Hörer die Frage, welcher Höhenunterschied ihm grösser erscheine, dieser oder jener, so wird er in den meisten Fällen vermöge seiner musikalischen Erfahrung oder durch leises Nachbilden der angegebenen Intervalle sich darüber klar zu werden suchen, was für ein Intervall das zuerst und was für eines das zuzweit angegebene Intervall sei; erkennt er z. B. das erstere als eine Terz, das zweite als eine Quarte, so wird er ohne irgend welche Berücksichtigung des thatsächlich empfundenen Höhenunterschiedes unbedingt das letztere Intervall für das grössere erklären. Unter

*) Mach (Zur Theorie des Gehörorganes, Prag, 1872) hat die von uns im Obigen kurz angedeutete Hypothese schon kurz berührt, jedoch nicht für genügend gehalten. Er vermuthet, dass der Trommelfellspanner die Function habe, das Gehörorgan den verschiedenen Tonhöhen anzupassen, und nimmt an, dass man zur Tonreihe dadurch gelange, dass sich die Tonhöhen mit den Empfindungen der Spannungen jenes Muskels, welche zu ihrer deutlichsten Wahrnehmung nothwendig seien, associiren und so die Tonempfindungen gewissermaassen in das Register jener Muskelempfindungen mit eingereiht werden.

solchen Umständen ist es zweifelsohne geboten, bei Versuchen, die man anstellt, um die Abhängigkeit der empfundenen Tonhöhe von der Schwingungszahl zu erforschen, von der Methode der übermerklichen Unterschiede, bei welcher mit den bekannten, musikalischen Intervallen operirt wird, ganz abzusehen und die Methode der kleinsten Unterschiede oder die der r. und f. Fälle anzuwenden, bei welchen Methoden sich der Einfluss der Gewohnheit und der Klangverwandtschaft nicht geltend machen kann; und zwar wird es bei solchen, selbstverständlich mit successiv erklingenden Tönen anzustellenden Versuchen zur Erzielung zuverlässiger Resultate unbedingt nothwendig sein, sich einfacher Töne zu bedienen, da sich, wie auch Helmholtz (Tonempf. S. 112) bemerkt, bei Beurtheilung und Vergleichung der Tonhöhen gegebener Klänge die Obertöne, welche die Grundtöne der Klänge begleiten, sehr wohl und zwar in nicht messbarer Weise mit geltend machen.

Aus den bisher angestellten, vereinzeltten Beobachtungen von Delezenne, Seebeck, Scheibler und Wundt*), von denen jeder nur eine einzige Tonhöhe betreffs der ihr zugehörigen Empfindlichkeit für Tonhöhenunterschiede untersuchte, lassen sich weitere Schlussfolgerungen nicht ziehen. Neuerdings hat Preyer auf Grund eigener Versuche die Behauptung ausgesprochen, dass das Weber'sche Gesetz für die Tonhöhen nicht bestehe, vielmehr die Empfindlichkeit für relative Unterschiede von Tonhöhen in hohem Grade von den Schwingungszahlen der zu vergleichenden Töne abhängig sei. Allein wir müssen leider auch diese Versuche Preyer's für unzulänglich zur Entscheidung der Frage erklären, ob das Weber'sche Gesetz (in erweiterter Fassung) auch für die Tonhöhen Gültigkeit besitze. Diese Versuche erstreckten sich nur auf 2 Tonhöhen, nämlich auf einen Ton von 500 und auf einen solchen von 1000 Schwingungen in der Secunde, und ergaben nach der Angabe Preyer's, dass, wenn der erstere Ton mit einem solchen von 500,3 und der zweite mit einem von 1000,5 Schwingungen in der Secunde verglichen wird, man unter günstigsten Umständen einen eben merklichen Höhenunterschied spürt. Preyer versucht diesen beiden Bestimmungen des eben merklichen Tonhöhenunterschiedes da-

*) Vergl. Fechner, Ps. I, S. 260 ff., Wundt, Ph. Ps. S. 369, Preyer, Ueber die Grenzen der Tonwahrnehmung, S. 26 ff.

durch eine grössere Bedeutung zu verschaffen, dass er die Beobachtungsergebnisse von Delezenne und Seebeck mit heranzieht und auf Grund seiner eigenen Versuche und der Beobachtungen dieser beiden Forscher folgende Tabelle aufstellt:

	Schwingungszahlen: $n':n$	Differenz: $n' - n$	Relative Unterschieds- empfindlichkeit:
Delezenne	120,209 : 119,791	0,418	287.
Seebeck	440 : 439,636	0,364	1212
Preyer	500,3 : 500	0,300	1666
	1000,5 : 1000	0,500	2000

Allein es ist ganz unstatthaft, aus einer derartigen Zusammenstellung der Einzelbeobachtungen verschiedener Forscher weitere Schlussfolgerungen zu ziehen. Woher weiss man denn, dass Seebeck sowie Delezenne und dessen Mitbeobachter gerade die gleiche Empfindlichkeit für Tonhöhenunterschiede besaßen wie diejenigen Versuchspersonen, mit Hilfe deren Preyer die in dieser Tabelle angegebenen Werthe des eben merklichen Tonhöhenunterschiedes fand? Scheint doch nach Preyer's eigenen Angaben der Werth des eben merklichen Unterschiedes für einen Klang von 1000 Schwingungen in der Secunde je nach Individuum und Uebung 0,4 bis 8 Schwingungen zu betragen. Ferner ist der Umstand beachtenswerth, dass die Klangfarbe der zu vergleichenden Töne bei den Versuchen Delezenne's und Seebeck's eine andere war als bei Preyer's Versuchen. Delezenne operirte mit Saitenlängen, Seebeck mit Stimmgabeln und Preyer mit Metallzungen. Unter solchen Umständen muss unseres Erachtens ganz davon abgesehen werden, die Beobachtungsergebnisse dieser 3 Forscher als mit einander vergleichbar zu betrachten. Wir sind also lediglich auf die eigenen Versuchsergebnisse Preyer's angewiesen, und aus diesen lassen sich weitergehende Schlussfolgerungen gar nicht ziehen, weil eben Preyer den eben merklichen Unterschied nur für 2 verschiedene Tonhöhen bestimmt hat, von denen noch dazu die eine, für welche sich die grössere (absolute) Unterschiedsempfindlichkeit herausgestellt hat, vor der anderen gerade den Vorzug besitzt, dass sie, wie Preyer selbst geltend macht, in der Mitte der in der Musik gebräuchlichen Tonhöhen liegt. Auch war das Versuchsverfahren, dessen sich Preyer bediente, ein sehr mangelhaftes; es entsprach weder der Methode der r. und f. Fälle noch einer wirklichen Methode der eben merklichen Unterschiede, sondern weit eher der in § 19

1.
maximale
Empfindlichkeit

2.

auch mit Gabeln

3.
für mehr

besprochenen, unzulänglichen Methode der eben immer erkennbaren Unterschiede. Bei Anwendung dieser Methode ist die Bestimmung der Grösse des eben erkennbaren Unterschiedes innerhalb gewisser Grenzen von der Willkür abhängig; und wir finden denn auch, dass Preyer, während er in der oben wiedergegebenen Zusammenstellung den eben merklichen Unterschied für die Schwingungszahl 1000 gleich 0,5 setzt, sich auf der nämlichen Seite folgendermaassen äussert: „Die äusserste Grenze scheint mir in der That für die Prime bei dem Tonverhältniss 500,0:500,3 und 1000,0:1000,4 erreicht.“ Endlich bemerkt Preyer (a. o. a. O. S. 36 f.) am Schlusse seiner Ausführungen „über die Unterschiedsempfindlichkeit für Tonhöhen“ noch Folgendes: „Hierbei wurde bisher mit dem Ausdruck Unterschiedsempfindlichkeit immer nur das Vermögen bezeichnet, zu erkennen, ob die zwei zu vergleichenden Tonhöhen verschieden sind oder nicht. Der zu Prüfende hatte nur zu antworten, ob die beiden Töne gleich oder verschieden sind. Eine ganz andere Frage ist aber die, welcher von den beiden Tönen der höhere ist. Ebenso wie es bei der Beurtheilung eben merklicher Temperaturunterschiede oft vorkommt, dass man sich völlig klar darüber ist, einen Unterschied wahrzunehmen, und doch den um $0,1^{\circ}$ wärmeren Körper für den kälteren hält, kommt es oft bei der Beurtheilung sehr kleiner Tonhöhendifferenzen vor, dass man zwar den Unterschied ganz sicher wahrnimmt, aber den tieferen Ton für den höheren erklärt“ u. s. w. Hiernach scheint es sogar, als habe Preyer solche Fälle, wo in Folge zufälliger Fehlerursachen das Urtheil über den Unterschied der Tonhöhe ein falsches war, als gleichwerthig mit den richtigen Urtheilsfällen angesehen und den eben merklichen Höhenunterschied ganz unrichtiger Weise da angenommen, wo die beiden Tonhöhen in einer sehr grossen Anzahl von Fällen verschieden erschienen, mochte nun hierbei der thatsächlich höhere Ton das eine Mal in dieser, das andere Mal in jener Zahl von Fällen fälschlich als der tiefere Ton erscheinen.

ist
nicht
der
Fall

Werfen wir nun einen kurzen Rückblick auf die Erörterungen dieses Capitels. Wir sahen, dass Fechner behauptet, seine Deutung des Weber'schen Gesetzes werde durch die strenge Gültigkeit bestätigt, welche dieses Gesetz für die Tonhöhen besitze, jedoch die Behauptung, dass das Weber'sche Gesetz auch für die Tonhöhen gelte, durch keinerlei triftige Thatsache

zu stützen weiss. Wir zeigten, dass aus der Anordnung der verschiedenen Tonleitern, welche im Wesentlichen durch das Princip der Klangverwandtschaft bestimmt worden sei, betreffs des zwischen empfundener Tonhöhe und Schwingungszahl bestehenden functionellen Verhältnisses nichts geschlossen werden könne. Ferner machten wir geltend, dass unser Urtheil über Gleichheit oder Ungleichheit gegebener Intervalle in manchen Fällen durch die Wahrnehmung gewisser Verwandtschaft der gehörten Klänge, allgemein aber durch unsere langjährige Gewohnheit, gleichnamige Intervalle auf verschiedenen Höhenstufen für gleich gross und gleichwerthig zu halten, beeinflusst werden dürfte, dass ferner auch die Empfindungen, welche den mit den verschiedenen Tonhöhen associirten, leisen Bewegungen unserer Stimmwerkzeuge entsprechen, bei Beurtheilung und Vergleichung der Höhenunterschiede gegebener Klänge leicht eine wichtige Rolle spielen können, und dass demnach selbst dann, wenn sich bei hinlänglich zuverlässigen Beobachtungen herausstellen sollte, dass 2 Töne, deren Schwingungszahlen in einem constanten Verhältnisse zu einander stehen, in den verschiedenen Theilen der Tonskala einen gleichen Höhenunterschied darzubieten scheinen, es noch sehr fraglich sein würde, ob hieraus auf Gültigkeit des Weber'schen Gesetzes für die Tonhöhen zu schliessen sei. Endlich zeigten wir noch, dass die bisherigen Beobachtungen von Delezenne, Seebeck, Preyer u. A. zur Entscheidung der Frage, ob das Weber'sche Gesetz im Gebiete der Tonhöhen gültig sei, ganz unzulänglich sind.

Unter solchen Umständen dürfen wir wohl behaupten, dass, wenn Fechner die von ihm behauptete, strenge Gültigkeit des Weber'schen Gesetzes im Gebiete der Tonhöhen als einen Beweis für seine psychophysische Auffassung anführt, dieser Beweis insofern ein ganz und gar hinfälliger ist, als die Gültigkeit des Weber'schen Gesetzes für die Tonhöhen auch nicht im mindesten erwiesen ist. Aber selbst angenommen, es sei nachgewiesen, dass dieses Gesetz für die Tonhöhen annähernd oder streng gültig sei, so würde daraus noch gar nicht nothwendig folgen, dass die psychophysische Deutung dieses Gesetzes die einzig mögliche und eine physiologische Deutung desselben ganz unhaltbar sei. Es ist gar nicht einzusehen, warum nothwendig die Voraussetzung zu machen sei, dass die der Schwingungszahl des Schallreizes entsprechende Modification der Hörnervenerregung

sich in gleichem Verhältnisse ändere wie der absolute Werth der Schwingungszahl, und warum man, wenn die Thatsachen eine solche Annahme nahe legen, nicht auch annehmen dürfe, dass jene Modification der Nervenirregung gleiche absolute Aenderungen erleide, wenn die Schwingungszahl des äusseren Reizes in gleichem Verhältnisse gesteigert werde. Ist es doch Thatsache, dass die qualitativen Aenderungen der Erregungen des Sehnerven den qualitativen Unterschieden der äusseren Lichtreize durchaus nicht proportional gehen. Und wenn wir auch annehmen, dass die Theile der Grundmembran die Schwingungen der ihnen entsprechenden Schallwellen genau mit ausführen, so wissen wir doch nicht das Geringste darüber, wie die Schwingungen dieser Theile zu Reizen für die mit denselben zusammenhängenden, nervösen Organe werden.

6. Capitel.

Das functionelle Verhältniss zwischen Sinnesreiz und Nervenirregung nach den bisherigen physiologischen Untersuchungen.

§ 105.

Sehr nahe liegt die Frage, ob sich nicht einfach durch Rücksichtnahme auf physiologische Untersuchungen, welche uns über die Abhängigkeit der Sinnesnervenirregung von der Reizstärke näher aufklären, die Entscheidung zwischen der psychophysischen und der physiologischen Deutung des Weber'schen Gesetzes treffen lasse. Denn zeige sich z. B., dass die Erregung des Sehnerven der Intensität des äusseren Lichtreizes innerhalb gewisser Grenzen annähernd proportional gehe, so sei offenbar die Unmöglichkeit der physiologischen Auffassung gar nicht in Abrede zu stellen. Allein die Intensitäten der Nervenprocesse direct zu messen, ist man nicht im Stande. Man kann nur gewisse Vorgänge, welche in Abhängigkeit von denselben stehen, dem Maasse unterwerfen, so vor Allem die negative Stromesschwankung, welche der Sinnesnerv bei Einwirkung äusserer Reize auf das Sinnesorgan zeigt. Allerdings ist uns das functionelle Verhältniss unbekannt, in welchem die negative Stromesschwankung zu dem specifisch so zu nennenden Nervenprocesse steht, der zur

Erweckung von Empfindungen dienen kann. Indessen sollte sich auf experimentellem Wege gerade der merkwürdige Fall herausstellen, dass die negative Stromesschwankung annähernd in arithmetischer Progression zunimmt, wenn die Intensität des äusseren Sinnesreizes in geometrischer Progression wächst, so würde man wohl kaum Bedenken tragen, dieses Resultat sowohl für eine gewichtige Bestätigung der physiologischen Auffassung des Weber'schen Gesetzes als auch für einen Beweis der Proportionalität zwischen Nervenenerregung und negativer Stromesschwankung anzusehen. Hierdurch rechtfertigt es sich, wenn wir hier und in gewisser Hinsicht mit einiger Ausführlichkeit die Versuche erörtern, welche neuerdings Dewar und M'Kendrick (Proceedings of the R. Soc. of Edinburgh, 1872—73, S. 101, 110, 179 ff.) angestellt haben, um die physiologische Wirkung des Lichtes auf die Netzhaut nach verschiedenen Seiten hin zu untersuchen. Die Art der Anstellung dieser Versuche war im Allgemeinen die folgende. Das Auge eines Frosches oder eines anderen Thieres wurde aus der Augenhöhle herausgeschnitten, so dass die harte Haut von Muskeln ganz frei war und ein Theil des Sehnerven intact blieb. Hierauf wurde das eine Ende (die eine Tonspitze) eines Schliessungsbogens mit dem Augapfel und das andere mit dem Querschnitte des mit dem Augapfelpräparate zusammenhängenden Sehnervestückes in Berührung gebracht, die Grösse des natürlichen Nervenstromes des Auges an dem in den Schliessungsbogen eingeschalteten Galvanometer abgelesen und dann die Schwankungen desselben beobachtet, welche eintraten, wenn die bis dahin aller Reizeinwirkung entzogene Netzhaut der Lichtreizung ausgesetzt wurde.

Zunächst stellten Dewar und M'Kendrick eine Reihe von c. 500 Beobachtungen an, bei denen sie, wie es scheint, mit sehr grosser Sorgfalt verfahren und die bewährtesten Methoden anwandten, um die aus dem Absterben des Nerven und anderen Umständen sich ergebenden Schwierigkeiten zu überwinden, und als deren Resultate sie unter Anderem auch Folgendes angeben:

1) Die beobachteten physischen Wirkungen des Lichtes, die Aenderungen der elektromotorischen Kraft des Sehorganes, ändern sich bei Variation der einwirkenden Lichtintensität in der Weise, dass sie genau mit den Werthen übereinstimmen, welche sich herausstellen müssen, wenn das Fechner'sche Gesetz approximative Geltung besitzt.

Nachdem Dewar und M'Kendrick dieses veröffentlicht hatten, stellten sie verschiedene neue Versuchsreihen an, bei denen sie zeigten, dass die früher erhaltenen Resultate durch eine etwaige, in Folge des Lichtreizes stattfindende Contraction der Iris nicht beeinflusst worden seien, und in Hinblick auf welche sie sich unter Anderem auch folgendermaassen auslassen:

2) „As to the effects produced by lights of different intensities. — If a candle is placed at a distance of one foot from the eye, and then is removed ten feet, the amount of light received by the eye is exactly one hundreth part of what it got at a distance of one foot: whereas the electro-motive force, instead of being altered in the same proportion, is only reduced to one-third.*) Repeated experiments made with the eye in different positions have conclusively shown that a quantity of light one hundred times in excess of another quantity only modifies the electro-motive force to the extent of increasing it three times as much, certainly not more.“

Jene beiden Forscher setzten ihre Untersuchungen noch weiter fort. Ihrer (dritten) Mittheilung über diese neuen Versuche entnehmen wir das Folgende:

3) „Viele Experimente wurden angestellt, welche beweisen, dass das psychophysische Gesetz Fechner's . . . nicht nur von der Perception im Gehirn, sondern zum Theil von der Structur des Auges selbst abhängig ist. Die Wirkungen, welche während und nach der Einwirkung des Lichtes auf die Retina eintreten, finden ebenfalls statt, nachdem das Auge aller Verbindung mit dem Gehirne beraubt ist. So ist denn das Gesetz Fechner's nicht, wie bisher vorausgesetzt worden ist, eine Function des Gehirnes allein, sondern in Wirklichkeit eine Function des Terminalorganes, der Retina.“

Man könnte fast glauben, dass durch einfache Wiedergabe dieser Mittheilungen sich die Frage nach der Bedeutung des Weber'schen Gesetzes ganz erledige, da nach den Versuchen von Dewar und M'Kendrick die Berechtigung der physiologischen und

*) Die Ausdrucksweise von Dewar und M'Kendrick ist sehr oft, insbesondere aber auch in dieser Auslassung eine sehr ungenaue; nicht die elektromotorische Kraft, sondern die negative Stromesschwankung scheint sich auf ein Drittel zu verringern, wenn die einwirkende Reizstärke auf den hundertsten Theil herabgebracht wird.

die Unmöglichkeit der psychophysischen Auffassung ausser Zweifel stehe. Indessen fassen wir die Auslassungen dieser Beobachter etwas näher in's Auge. Zunächst ist in der zweiten Mittheilung derselben auffallend, dass uns daselbst nach der viel versprechenden Ankündigung: „As to the effects produced by lights of different intensities“ weiter nichts mitgetheilt wird, als dass aus Wiederholten, bei verschiedenen Lagen des Augapfels angestellten Versuchen hervorgehe, dass eine Lichtquantität, die 100 Mal grösser sei als eine andere, den natürlichen Nervenstrom des Auges nur höchstens 3 Mal mehr als die andere modificire. Hiernach scheint es fast, als ob jene beiden Forscher nur in der Weise operirt hätten, dass sie ein Licht in die Entfernung eines Fusses vom Auge und darauf in die zehnfache Entfernung brachten und hierbei die in beiden Fällen eintretenden Aenderungen des natürlichen Nervenstromes verglichen. Diese Operation mögen sie sehr oft wiederholt haben. Aber ein solches Verfahren, bei dem die Wirkungen nur zweier verschiedener Lichtreize beobachtet werden, ist, wie sich sogleich näher ergeben wird, zur Ableitung eines bestimmten Gesetzes für die Abhängigkeit der negativen Stromesschwankung von der Intensität des Lichtreizes ungenügend.

Man wird uns vielleicht einwerfen, dass, wenn jene Forscher in der oben angeführten Auslassung allgemein berichten, dass, wie wiederholte Beobachtungen gezeigt hätten, ein Lichtreiz, der die Intensität eines anderen 100 Mal übertreffe, die elektromotorische Kraft des Sehorganes nur 3 Mal mehr als der andere, sicher nicht in höherem Grade, modificire, hiermit offenbar gemeint sei, dass die hundertfache Steigerung jedes beliebigen Reizes annähernd immer nur eine 3 Mal so grosse Modification des natürlichen Nervenstromes mit sich führe. Wenn es sich nun wirklich so verhalten sollte, dass die Steigerung jedes beliebigen Lichtreizes auf das Hundertfache nur eine 3 Mal so grosse Stromesschwankung mit sich führt, so ergiebt sich hieraus, wie leicht abzuleiten, nichts weniger als ein logarithmisches Abhängigkeitsverhältniss zwischen der negativen Stromesschwankung n und der Reizstärke r , vielmehr die Formel: $n = kr^{1/4,19\dots}$. Die Gleichung: $n = k \log r + c$, ist zwar mit der Bedingung vereinbar, dass bei Verhundertfachung einer bestimmten Reizstärke die zugehörige Stromesschwankung sich verdreifache, nicht aber, wie leicht zu erkennen, mit der

Bedingung, dass die Verhundertfachung jeder Reizstärke ein Anwachsen der negativen Schwankung auf das Dreifache mit sich führe.

Um die Art und Weise, wie Dewar und M'Kendrick zu ihren obigen Schlussfolgerungen betreffs des Fechner'schen Gesetzes gelangt sind, näher darzulegen, führen wir noch folgende Erörterung derselben an, welche sich unmittelbar an die oben unter 2) mitgetheilte Auslassung anschliesst.

„It was apparent to us that these experiments would ultimately bear upon the theory of sense-perception as connected with vision. . . . The natural query then arises — are the physical effects we have described and measured really comparable in any way with our sensational differences in light perception when we eliminate all mental processes of association etc. and leave only perception of difference of intensity? In other words, are these changes the representative of what is conveyed to the sensorium? Stating the law of Fechner generally, we may say, the difference of our sensations is proportional to the logarithm of the quotient of the respective luminous intensities. . . . If therefore the observed differences in electro-motive power, registered under conditions of varying luminous intensity, agree with this law of Fechner, regulating our sensational impressions, then there can be little doubt these variations are the cause of, and are comparable to our perception of sensational differences. Now, we have stated above, that with a quantity of light one hundred times in excess of another quantity, the electro-motive force only becomes three times greater. According to Fechner's law, we may say the difference of our sensations, with that variation in the amount of luminous intensity, would be represented by 2, the logarithm of 100. Our experimental results being as 3 to 1, the difference is also 2, thus agreeing very closely.“

Hiernach kann es keinem Zweifel mehr unterliegen, dass Dewar und M'Kendrick etwa folgendermaassen argumentirten: „Nach Fechner's Gesetz ist der Unterschied zweier Empfindungsintensitäten s' und s'' gleich $\log \frac{r'}{r''}$. Ist also z. B. $r' = 100$ und $r'' = 1$, so ist, wenn man sich gemeiner Logarithmen bedient, $s' - s'' = \log \frac{100}{1} = 2$. Nun hat sich gezeigt, dass, wenn eine Reizstärke r'' auf das Hundertfache bis zur Grösse r' gesteigert wird, die negative Schwankung immer nur drei Mal grösser wird, dass also der Unterschied zweier Stromes-

schwankungen n' und n'' , welche den Reizstärken r' und r'' entsprechen, gleichfalls $= 3 - 1 = 2 = \log \frac{100}{1}$ gesetzt werden kann. Folglich stehen $s' - s''$ und $n' - n''$ und mithin auch allgemein s und n in dem gleichen Abhängigkeitsverhältnisse zur Reizstärke, und das Fechner'sche Gesetz ist in der Structur der Retina begründet.“ Es ist nicht schwer, den ganz elementaren Fehler dieser Argumentation zu entdecken. Nach Fechner's Gesetz kann allerdings der Empfindungsunterschied $s' - s''$, welcher zwei Reizstärken r' und r'' entspricht, die sich wie 100:1 verhalten, bei der Wahl geeigneter Einheiten allgemein $= \log \frac{100}{1} = 2$ gesetzt werden. Und man würde allerdings

die negative Stromesschwankung gleichfalls für eine logarithmische Function der Reizstärke erklären können, wenn die Differenz zweier Stromesschwankungen, deren zugehörige Reizintensitäten sich wie 100:1 verhielten, immer $= 2$ gewesen wäre. Dies letztere ist jedoch nicht der Fall gewesen, wenn, wie Dewar und M'Kendrick behaupten, die Verhundertfachung der Lichtintensität allgemein eine Verdreifachung der Grösse der negativen Schwankung mit sich führte. Hält man einen bestimmten Werth der Stromesschwankung als Einheit fest, so erhält man nach der Angabe jener Forscher bei wiederholter Verhundertfachung der Reizintensität als zugehörige Werthe der negativen Schwankung die Werthe 1, 3, 9, 27, 81 u. s. f., in welcher Reihe die Differenz zweier unmittelbar auf einander folgender Glieder durchaus nicht allgemein $= 2$ ist.

Davon, dass Dewar und M'Kendrick zur Zeit das bewiesen hätten, was sie dargethan zu haben glauben, nämlich, dass das Weber'sche Gesetz physiologisch zu deuten sei, kann also, wie auch bereits Breton (*Cosmos*, 2. Sér., T. XXXVIII, no. 2, S. 64 f.) im Gegensatze zu Delboeuf (*Théorie générale etc.* S. 48), Ward (a. a. O. S. 462) u. A. erkannt hat, keine Rede mehr sein. Entweder haben beide Forscher — und dies will uns in Hinblick auf verschiedene Auslassungen derselben bei weitem als das Wahrscheinlichere erscheinen — im Wesentlichen überhaupt nur 2 verschiedene Lichtintensitäten, die sich ungefähr wie 1:100 zu einander verhielten, betreffs ihrer Wirkungen auf die elektromotorische Kraft des Auges untersucht; und dann lässt sich gegenwärtig über das Gesetz der Abhängigkeit der negativen

Schwankung n von der Reizstärke r etwas Näheres nicht aussagen und die Formeln: $n = k \log r + c$, und $n = kr^{1/v}$, wo v eine Constante bedeutet, erscheinen neben vielen anderen als gleich möglich; — oder sie haben gemäss der allgemein gehaltenen Angabe ihrer zweiten Mittheilung, dass ein Lichtreiz, welcher 100 Mal intensiver sei als ein anderer, nur eine 3 Mal grössere Modification der elektromotorischen Kraft des Auges mit sich führe, nachgewiesen, dass $n = kr^{1/4.18}$ gesetzt werden muss. Dass letztere Formel auch unter Voraussetzung von Proportionalität zwischen Nervenenerregung und negativer Stromeschwankung mit der psychophysischen Auffassung des Weber'schen Gesetzes auf das Beste übereinstimmen würde, geht aus den Ausführungen des dritten Capitels dieses Abschnittes hervor, wo wir gezeigt haben, dass diese Auffassung, um der thatsächlichen Abhängigkeit der relativen Unterschiedsempfindlichkeit von der Reizqualität gerecht zu werden, annehmen muss, dass die Sinnesnervenenerregung innerhalb gewisser Grenzen annähernd $= kr^p$ sei, wo p eine mit der Reizqualität veränderliche Constante bedeutet. Für die physiologische Auffassung würde sich aus der Gültigkeit obiger Formel: $n = kr^{1/v}$, ergeben, dass innerhalb gewisser Grenzen die Sinnesnervenenerregung annähernd wie der Logarithmus der negativen Stromeschwankung wächst.

Das Einzige, was sich allenfalls auf Grund der Versuche von Dewar und M'Kendrick zur Zeit behaupten lässt, ist dies, dass die negative Schwankung des natürlichen Nervenstromes des Sehorganes der Intensität des Lichtreizes nicht proportional geht, sondern langsamer wie diese und mit abnehmender Geschwindigkeit wächst. Aehnliche Resultate erhielt bereits J. J. Müller*), als er die Abhängigkeit der negativen Schwankung des Nervenstromes von der Intensität des erregenden elektrischen Stromes untersuchte. Da wir jedoch, wie schon bemerkt, gar nicht wissen, in welchem Verhältnisse die negative Schwankung zur Nervenenerregung steht, so lässt sich aus derartigen Resultaten betreffs der Abhängigkeit der Nervenenerregung von der Reizstärke zur Zeit nichts schliessen.

*) Vergl. J. J. Müller, in den Untersuchungen aus dem Physiol. Laborat. der Züricher Hochschule, hrsg. von A. Fick, 1. Heft, S. 125 ff.

Auf einen Punkt möchten wir hier noch kurz aufmerksam machen. Dewar und M'Kendrick schwächten die einwirkende Helligkeit, indem sie die Entfernung eines Lichtes vom Augapfelpräparate auf das Zehnfache erhöhten. Hierbei bleibt aber nach dem von R. Smith, J. Herschel und Arago aufgestellten Satze die Helligkeit des Netzhautbildes merklich dieselbe, und nur die Grösse desselben verringert sich auf den hundertsten Theil. Mithin haben jene beiden Forscher nicht sowohl die Abhängigkeit der negativen Stromesschwankung von der einwirkenden Lichtintensität als vielmehr die Abhängigkeit derselben von der Ausdehnung der beleuchteten Netzhautstelle untersucht; und bei einer künftigen Wiederholung ihrer Versuche wird es sich empfehlen, die Lichtquelle in einer constanten Entfernung vom Augapfelpräparate zu belassen und die Intensität der von derselben ausgehenden Strahlen durch absorbirende Medien (Rauchgläser) oder auf andere ähnliche Weise zu schwächen. Dass eine genaue Wiederholung und Ergänzung der Versuche von Dewar und M'Kendrick äusserst wünschenswerth ist, bedarf nach dem Früheren keiner weiteren Ausführung. Besonders interessante Resultate könnten sich unter Umständen ergeben, wenn man es unternähme, die Versuche jener beiden Forscher in verschiedenen Sinnesgebieten durchzuführen und insbesondere auch zu untersuchen, ob die Abhängigkeit der negativen Stromesschwankung von der Reizstärke eine andere ist, je nachdem der Nerv auf indirectem Wege durch Vermittelung der mit ihm verknüpften Terminalorgane oder direct durch unmittelbar auf ihn einwirkende, elektrische oder mechanische, Reize erregt wird.

§ 106.

Nachdem wir gesehen haben, dass die bisherigen Untersuchungen über die Abhängigkeit der negativen Stromesschwankung des Sinnesnerven von der Reizstärke nicht geeignet sind, die Frage zu beantworten, in welchem Verhältnisse die Sinnesnervenenerregungen derjenigen Sinnesgebiete, für welche das Weber'sche Gesetz einigermassen gilt, zu den äusseren Reizstärken stehen, gehen wir nun noch kurz auf die Versuche Fick's ein, nach denen bei Reizung eines motorischen Nerven durch elektrische Stromstösse von unveränderlicher Dauer, aber wechselnder Intensität die Zuckungshöhen des zugehörigen Muskels

innerhalb weiter Grenzen den Stromstärken proportional gehen, falls man, um gewisse, complicirtere Wirkungen des Stromes auszuschliessen, den Stromstössen eine hinreichend kurze Dauer giebt. Fechner (Ueber die Frage etc. S. 15 f.), Fick (a. a. O. S. 349 f.) und Wundt (Ph. Ps. S. 284) erblicken in dem angeführten Resultate dieser Versuche eine Bestätigung der von der psychophysischen Auffassung gemachten Annahme der Proportionalität zwischen Reiz und Nervenirregung. Hierzu haben wir Folgendes zu bemerken.

Erstens bedürfen in diesem schwierigen, sehr vielen Zufälligkeiten ausgesetzten Versuchsgebiete anerkanntermaassen auch die Beobachtungen der vorzüglichsten Forscher behufs Sicherstellung ihrer Resultate der Bestätigung durch Versuche Anderer. Wir können es daher zur Zeit noch nicht für eine sicher constatirte Thatsache ansehen, dass bei geeigneter elektrischer Reizung eines motorischen Nerven die Zuckungshöhen des zugehörigen Muskels den Reizstärken innerhalb weiter Grenzen proportional gehen. Allerdings erblickt Wundt (Ph. Ps. S. 284) eine Bestätigung der Versuche Fick's in den bekannten Untersuchungen Kronecker's, nach denen, wenn man einen belasteten und unterstützten Muskel nach constanten Zeitintervallen mit maximalen Stromstössen reizt, die in Folge der Ermüdung abnehmenden Zuckungshöhen eine arithmetische Reihe bilden, deren constante Differenz einzig und allein von der Grösse der Intervalle abhängt. Indessen es würde unseres Erachtens nicht weniger als dreier zur Zeit nicht erwiesener Annahmen bedürfen, um dieses Gesetz Kronecker's für einen Corollarsatz des von Fick aufgestellten Satzes der Proportionalität von Reiz und Muskelzuckung erklären zu können, wenn Kronecker überhaupt bei seinen Versuchen ebenso wie Fick den Muskel durch Reizung des zugehörigen motorischen Nerven erregt hätte. Da jedoch bei den Versuchen Kronecker's „Oeffnungs- und Schliessungsinductionsschläge, welche direct die beiden Muskeln durchsetzten“ (vergl. Kronecker in den Monatsber. der Berl. Akad. von 1870, S. 630), als Reize dienten, und den Muskeln ausser der Fähigkeit, vom motorischen Nerven aus zu Contractionen veranlasst zu werden, wie auch Wundt selbst nachgewiesen, höchstwahrscheinlich noch eine selbständige Irritabilität zukommt, so dass also die quergestreifte Muskelsubstanz auch im entnervten Zustande durch den inducirten

Strom erregbar ist (vergl. C. Sachs in Reichert's Arch. von 1874, S. 675), so ist es vollends sehr gewagt, zur Zeit einen näheren Zusammenhang zwischen dem Ergebnisse jener Versuche Fick's und dem obigen Gesetze Kronecker's zu behaupten. Untersuchungen anderer Forscher, deren Resultate man an Stelle des obigen Satzes Kronecker's als eine Bestätigung der Versuche Fick's anführen könnte, sind uns nicht bekannt. Neuerdings haben Gruenhagen und Samkow (Pflüger's Arch. X, S. 168) gefunden, dass der Irissphinkter des Kaninchens und der Katze die Fähigkeit zu besitzen scheine, erregenden Einflüssen sowohl durch Contraction als auch durch „Elongation“ oder „active Erschlaffung“ zu entsprechen, und zwar fanden sie, dass bei galvanischer Reizung des sphincter pup. der Katze in der Regel eine der Reizstärke proportionale Verlängerung eintrete. Es will uns jedoch aus mehrfachem Grunde sehr zweifelhaft erscheinen, ob auf diese Notiz hier viel Werth zu legen sei. Die Versuche, welche Chauveau (Comptes rendus etc. LXXXI, S. 826) neuerdings mit unipolaren elektrischen Nervenreizen angestellt hat, scheinen uns ebenso gegen wie für die Annahme von Proportionalität zwischen Nervenreiz und Muskelzuckung zu sprechen. Preyer (Das myophysische Gesetz, S. 143), von dessen myophysischem Gesetze wir hier ganz absehen, macht gegen Fick's Versuche geltend, dass dieselben nicht an einem parallelfaserigen Muskel, sondern an dem wegen seines verwickelten Baues ungeeigneten m. gastrocnemius angestellt worden seien. In der That erhielt auch Fick (Untersuchungen über die elektr. Nervenreizung, S. 13 f.) bei einer Versuchsreihe, welche er an der Muskelgruppe anstellte, die an der hinteren Seite des Oberschenkels liegt, eine Zuckungscurve, nach welcher die Zuckungshöhe erst rasch, dann aber langsamer wächst, um nur ganz allmählich ihr Maximum zu erreichen.

Zweitens ist zu berücksichtigen, dass sich aus den Versuchen Fick's auf Proportionalität zwischen motorischer Nervenirregung und elektrischer Reizstärke doch nur dann schliessen lässt, wenn man annimmt, dass die Muskelzuckung der sie hervorruhenden Erregung des motorischen Nerven proportional gehe. Die Versuche von Nawalichin (Pflüger's Arch. XIV), welche ergeben, dass bei wachsender Reizstärke die Wärmeproduction im Muskel der Hubhöhe nicht proportional geht, sondern in viel

schnellerem Verhältnisse wächst als letztere, zeigen hinlänglich, dass in diesem complicirten Gebiete die einfachste Annahme nicht auch die sachgemässe zu sein braucht.

Drittens nimmt ja doch die physiologische Auffassung des Weber'schen Gesetzes nicht an, dass allgemein die Erregung eines Nerven mit gewisser Annäherung wie der Logarithmus der Reizstärke zunehme, sondern sie setzt ein solches Verhältniss nur in denjenigen Sinnesgebieten, für welche das Weber'sche Gesetz besteht, und auch hier nur zwischen adäquater Sinnesreize und Nervenirregung voraus. Jene Auffassung des Weber'schen Gesetzes braucht durchaus nicht anzunehmen, dass, wenn der Sehnerv durch unmittelbar auf ihn selbst einwirkende, mechanische oder elektrische, Reize erregt werde, die entstehenden Nervenirregungen in demselben Verhältnisse zu den Reizstärken stünden, in welchem die Sehnervenirregungen dann zu den Reizintensitäten stehen, wenn diese Lichtintensitäten sind, die den Sehnerven durch Vermittelung der Netzhaut erregen; geschweige denn, dass sie die Erregung eines elektrisch gereizten motorischen Nerven für die gleiche Function der Reizstärke zu halten hat wie die Erregung des durch adäquate Reize gereizten Seh- oder Hörnerven. Man vergegenwärtige sich doch nur einmal näher, wie die Erregung des Hörnerven, welche von einem Schallreize hervorgerufen wird, von ganz anderen zahlreichen Factoren (der inneren Constitution mitschwingender Membranen, den Widerständen, welche die Schwingungen dieser Theile zu überwinden haben, u. dergl. m.) abhängig ist und überhaupt auf ganz anderem Wege bewirkt wird als die Erregung eines elektrisch*) gereizten motorischen Nerven, und wie ganz

*) Im Obigen haben wir ganz davon abgesehen, dass die Anführung der Versuche Fick's schon deshalb in einem etwas zweifelhaften Lichte erscheint, weil die Curve der Muskelzuckungen, die man bei Versuchen mit elektrischen Stromstössen von constanter Dauer, aber wachsender Intensität erhält, jenseits ihres ersten Maximums noch weitere Wendepunkte der Abnahme und Wiederzunahme der Zuckungen enthält, dem Analoges sich zweifelsohne von der Curve der durch adäquate Reize hervorgerufenen Sinnesnervenirregungen nicht aussagen lässt. Weiss man denn wirklich mit voller Sicherheit, dass diejenigen der elektrischen Nervenreizung eigenthümlichen Umstände, welche den Verlauf der Curve der Muskelzuckungen jenseits des ersten Maximums in so auffallender

Aehnliches auch von den Erregungen der übrigen Sinnesnerven gilt. Ebenso wenig, wie man richtig schliessen würde, wenn man die Erfolge, die ein constanter elektrischer Strom bei seiner Einwirkung auf die Sinnesapparate haben werde, nach den Wirkungen bemessen wollte, welche der constante Strom bei seiner Einwirkung auf den motorischen Nerven am Muskel hervorruft, bez. nicht hervorruft (vergl. Helmholtz, Ph. O., S. 202 f.), darf man glauben, bei Beobachtungen am elektrisch gereizten motorischen Nerven dasselbe Abhängigkeitsverhältniss zwischen Reiz und Nervenenerregung zu erhalten, welches thatsächlich zwischen den Erregungen des Sehnerven, Hörnerven u. s. w. und den entsprechenden Sinnesreizen besteht. Uebrigens ist nicht einmal constatirt, dass der Nervenprocess, insofern er Muskelcontractionen zu Folge hat und insofern er Empfindungen hervorruft, ein und derselbe Process ist, d. h. dass nicht etwa ein Nebenprocess desjenigen Vorganges, der für die Muskeleerregung wesentlich ist, für die Entstehung unserer Empfindungen der wirklich maassgebende ist; und können jene Versuche Fick's auch schon aus diesem Grunde zur Entscheidung der Frage, ob die physiologische oder die psychophysische Auffassung des Weber'schen Gesetzes die richtige sei, nicht maassgebend sein.

Viertens haben wir gesehen, dass die Maassformel Fechner's die thatsächliche Abhängigkeit der Empfindungsintensität von der Reizstärke nur innerhalb gewisser Grenzen mit einiger Annäherung ausdrückt, so dass Fechner selbst sich genöthigt sieht, für einen beträchtlichen Bereich geringer und mittlerer Intensitäten die Annahme der Proportionalität von Reiz und Sinnesnervenenerregung aufzugeben und zur Erklärung der thatsächlichen Abweichungen vom Weber'schen Gesetze die Vermuthung aufzustellen, dass vielleicht die Nervenenerregung, so zu sagen, erst in Zug kommen müsse, ehe die Zuwüchse derselben den Reizzuwüchsen ganz oder approximativ proportional zu werden anfangen, und die Zuwüchse der Erregung bis zu gewissen Grenzen um so mehr hinter den Reizzuwüchsen zurückblieben, je kleiner der Reiz sei. Wenn nun im Gegensatz hierzu nach Fick's Versuchen unter der Voraussetzung, dass die Muskelzuckung eine lineare Function der motorischen Erregung sei, die Proportio-

Weise bestimmen, nicht auch bereits da mit von Einfluss sind, wo die Zuckungshöhe dem elektrischen Reize proportional zu gehen scheint?

nalität zwischen den Erregungszuwüchsen und den Reizzuwüchsen mit einer Genauigkeit gilt, „mit der man sich in den aller-einfachsten physikalischen Untersuchungen begnügen könnte, und zwar durch die ganze Erregungsskala bis hart an die Grenze derselben, wo das überhaupt erreichbare Maximum der Erregung eintritt“, wenn die Curve der Muskelzuckungsgrößen „mit auf-fallender Genauigkeit eine gegen die Abscissenaxe schräg an-steigende Gerade darstellt, welche mit einem sichtlichen Knick in eine der Abscissenaxe parallele Gerade übergeht“ (Fick, a. a. O. S. 349), so ist offenbar der psychophysischen Auffassung des Weber'schen Gesetzes durch diese Versuchsergebnisse Fick's nicht sehr gedient. Auch Fechner selbst ist dies nicht entgangen, dass jene von Fick gefundene, sehr genaue Proportionalität von Reiz und Nerven-erregung eben wegen ihrer Genauigkeit sich nicht mehr gut für die psychophysische Auffassung geltend machen lässt. Man erkennt dies leicht aus folgender Auslassung desselben (Ueber die Frage etc. S. 16): „Soll ich mir nun zu Gunsten der Erklärung der Abweichungen, die uns zu erklären obliegt, eine Vermuthung über diese eigenthümliche Gestalt der Curve (der Zuckungshöhen) erlauben, so würde es die sein, dass die merklich genaue Geradlinigkeit der Curve in ihrem auf-steigenden Theile, welche man sich noch in rückwärts gehender Verlängerung unter die Abscisse herab fortgesetzt denken kann, dadurch zu Stande kommt, dass Abweichungen von der Pro-portionalität zwischen Reiz und ausgelöster Nerven-thätigkeit, welche für sich allein eine etwas concave (muss heissen: convexe) Gestalt der Curve gegen die Abscisse mitführen würden, sich mit solchen zwischen Nerven-thätigkeit und dadurch ausgelöster Muskelthätigkeit durch entgegengesetzte Richtung merklich com-pensiren; denn es ist unter dem Einflusse von Hindernissen, welche Anfangs gar keine Wirkung merklich werden lassen, nicht wohl anzunehmen, dass nicht Abweichungen von der Pro-portionalität überhaupt hierbei stattfinden sollten.“ Man sieht, dass Fechner, um überhaupt die Versuche Fick's für seine psycho-physische Deutung des Weber'schen Gesetzes anführen zu können, eine durch keinerlei sonstige Erwägungen geforderte Hypothese machen muss, welche dazu dienen soll, jene von Fick gefundene, sehr genaue Proportionalität zwischen Reiz und Muskelzuckung mit den Abweichungen von der Proportionalität, welche die psycho-physische Auffassung nach den Beobachtungsreihen Aubert's u. A.

für das Verhältniss zwischen Reizstärke und Nervenenerregung nothwendig anzunehmen hat, in Einklang zu bringen.

Endlich machen wir noch darauf aufmerksam, dass, wie wir im dritten Capitel dieses Abschnittes gezeigt haben, die psychophysische Auffassung des Weber'schen Gesetzes wegen der verschiedenen Werthe, welche die Constante x der Maassformel in verschiedenen Empfindungsgebieten und für eine und dieselbe Empfindungsqualität bei verschiedenen Individuen zu besitzen scheint, nicht sowohl Proportionalität zwischen Reiz und Sinnesnervenenerregung als vielmehr Gültigkeit der Formel: $E = kr^p$, wo p eine für verschiedene Reizqualitäten verschieden grosse Constante bedeutet, vorauszusetzen hat. Hiernach würden die Versuche Fick's gerade dann, wenn das hier in Rede stehende Ergebniss derselben allgemein auf das zwischen Sinnesnervenenerregung und äusserem Reize bestehende Verhältniss übertragbar wäre, für nichts weniger als für eine Bestätigung der psychophysischen Auffassung betrachtet werden dürfen.

§ 107.

Wir nehmen hier Gelegenheit, kurz die Versuche zu erwähnen, die man bereits gemacht hat, um das langsame Anwachsen der Sinnesempfindung, das sich aus den im zweiten Abschnitte erörterten Thatsachen und Beobachtungsreihen zu ergeben scheint, auf physiologischem Wege zu erklären. Zunächst ist zu erwähnen, dass Mach*) und Hering (a. a. O. S. 28) daran erinnern, dass bei steigender Helligkeit die Pupille sich verengt und hierdurch der Lichteintritt in das Auge beschränkt wird. Es ist jedoch ausser Zweifel, dass die Veränderlichkeit der Pupillenweite zur Erklärung der annähernden Gültigkeit des Weber'schen Gesetzes im Gebiete des Gesichtssinnes bei weitem nicht genügt; man braucht sich nur zu vergegenwärtigen, dass bei den Versuchen von Volkmann, Aubert u. A. die Blicklinie meist an der Grenze der beiden zu vergleichenden Helligkeiten hin und her bewegt wurde und mithin die letzteren thatsächlich bei gleicher Pupillenweite betrachtet wurden. Mach und Hering erkennen auch beide das Ungenügende jenes Er-

*) Sitzungsber. d. Math. Nat. Cl. der Wiener Akad., 57. Bd., 2. Abth. S. 11 ff.

klärungsversuches an. Ersterer nimmt seine Zuflucht zu der weiteren Annahme, dass das Weber'sche Gesetz physiologisch begründet sei, indem zwar die Empfindung der ihr zu Grunde liegenden, centralen Nervenerrregung und die vom Sinnesreize unmittelbar hervorgerufene Erregung, wie Fick's Versuche ergäben, der Reizintensität proportional gehe, aber die im Sinnesorgane entstandenen Erregungen „durch ein complicirtes Gewebe von Nerven durchfiltrirt“ würden, die Erregungen zweier Netzhautstellen sich, so zu sagen, gegenseitig den Abfluss zum Sensorium versperrten und in Folge dessen die Erregung des Sensoriums langsamer wachse als die vom Sinnesreize unmittelbar hervorgerufene Erregung. Hering macht an zweiter Stelle noch geltend, dass die absolute Empfindlichkeit bei steigender Helligkeit sich verringere und in Folge dessen die Empfindung bei zunehmender Lichtstärke nur langsam wachse; was unseres Erachtens gleichfalls ein unzulänglicher Erklärungsversuch ist. Wir haben z. B. gesehen (vergl. die 1. Versuchsreihe der Tabelle I auf S. 96), dass, wenn die beiden Helligkeitscontraste, welche von 3 an einander angrenzenden, bei bewegtem Blicke verglichenen Lichtzonen gebildet werden, gleich intensiv erscheinen sollen, innerhalb gewisser Grenzen die innere, lichtstärkste Zone ihrer Helligkeit nach in annähernd demselben Verhältnisse zur mittleren Zone stehen muss, in welchem diese zur äusseren, lichtschwächsten Zone steht. Sollen wir nun wirklich annehmen, der Umstand, dass bei erreichter Gleichheit der beiden Contraste der absolute Helligkeitsunterschied der inneren und mittleren Zone bedeutend grösser, z. B. mehr als 4 Mal so gross, sein muss als der Unterschied der mittleren und äusseren Zone, rühre lediglich davon her, dass sich erstens die Pupillenweite bei Betrachtung der verschiedenen (niemals isolirt wahrgenommenen!) Helligkeitszonen beträchtlich ändere und zweitens die Erregbarkeit des über die 3 Lichtzonen hinbewegten Auges allemal bei Betrachtung der hellsten Zone eine ganz bedeutend geringere sei als bei Betrachtung der beiden anderen Zonen?“*)

*) Man vergl. auch § 66. Die sogenannte Adaptation der Netzhaut scheint so recht als Sündenbock dienen zu müssen. Wundt macht sie, wie in § 66 gesehen, dafür verantwortlich, dass das Weber'sche Gesetz im Gebiete des Gesichtssinnes nur sehr wenig gültig erscheine, Hering hingegen dafür, dass in diesem Sinnesgebiete, scheinbar in Ueber-

Einen neuen Gesichtspunkt, welcher dem soeben besprochenen Erklärungsversuche Hering's sehr ähnlich ist, aber ebenso wenig wie dieser ausreichend sein dürfte, hat Netter (*Annales d'oculistique*, LXXVI, S. 198 ff.) bei Erörterung einer das Weber'sche Gesetz nicht näher berührenden Frage geltend gemacht. Wenn wirklich die Leistungsfähigkeit der Netzhaut von der Ernährung derselben durch den Blutumlauf abhängig ist, wenn wirklich eine vollständige Hemmung der Blutcirculation in den Netzhautgefässen die Sehkraft plötzlich ganz aufhebt, so müssen, wie Netter näher darlegt, Erweiterungen, bez. Verengerungen, welche der Caliber der Gefässe der Netzhaut erfährt, nothwendig die Empfänglichkeit dieses Organes für die einwirkenden Lichtreize erhöhen, bez. vermindern; was sich auch daraus zu ergeben scheint, dass im Falle der Hemeralopie der Caliber der Netzhautarterien ein abnorm geringer ist. Wenden wir also unseren Blick von einem mässig hellen Objecte auf eine intensiv beleuchtete Fläche, so verringert sich nach Netter's Ausführungen nicht bloss die Weite der Pupille, sondern gleichzeitig und gleich momentan (?) auch der Caliber der Netzhautgefässe; in Folge dessen vermindert sich die Leistungsfähigkeit der Netzhaut, und die eintretende Erregung des Sehnerven fällt im Verhältnisse zu der Erregung, welche dem vorher wahrgenommenen, mässig beleuchteten Objecte entsprach, nur gering aus.

Die Thatsache, dass die Compression, bez. Dilatation, der thierischen Gewebe bei wachsendem Drucke, bez. Zuge, im Allgemeinen nur sehr langsam zunimmt, hat H. de Parville (*Journal des debats*, vom 18. Februar 1875) zur Erklärung des Weber'schen Gesetzes für alle Sinnesgebiete geltend gemacht. Im Gebiete des Drucksinnes dürfte sich allerdings ein langsames Anwachsen der Empfindungsintensität bei zunehmender Reizstärke möglicher Weise dadurch erklären, dass die Compression der gedrückten Hautpartien bei zunehmendem Drucke verhältnissmässig nur langsam wächst.

Was man auch von den im Vorstehenden erwähnten Versuchen, eine dem Wachstume der Reizintensität nicht proportionale, langsame Zunahme der Sinnesempfindung auf physiologischem Wege zu erklären, halten mag, auf jeden Fall thun sie

einstimmung mit Fechner's Maassformel, die Empfindungsintensitäten langsamer wüchsen als die äusseren Reizstärken.

in unverkennbarer Weise dar, wie verfehlt es ist, wenn man aus den Resultaten, welche Fick bei elektrischer Reizung des motorischen Nerven am Muskel erhielt, betreffs des durch besondere, complicirte Vorrichtungen vermittelten Abhängigkeitsverhältnisses, in welchem die Sinnesnervenerregung zur Intensität des adäquaten Reizes steht, etwas erschliessen will. Die von Netter geltend gemachte Hypothese dürfte, wenn sie sich bestätigt, in mancher Beziehung fruchtbringend sein. Es ist leicht möglich, dass die Adaptation der Netzhaut zum Theil durch die eintretende Erschöpfung, bez. Erholung, der sensiblen Organe selbst, zum Theil aber auch den Annahmen Netter's gemäss zu Stande kommt. Dass es im Gebiete des Temperatursinnes gleichfalls eine allmählich eintretende, durch eine wenigstens partielle Regulirung des Blutumlaufs bewirkte Adaptation an andauernde Temperaturreize giebt, ist bekannt. Man könnte fast vermuthen, dass überhaupt in allen Sinnesgebieten durch eine partielle Regulirung des Blutumlaufes eine Adaptation an andauernde Sinnesreize bewirkt werde, dass z. B. die Schwingungen der membrana basilaris, der Druck eines auf der Haut lastenden Gewichtes das Caliber der Blutgefässe, welche die nervösen Organe des acustischen Endapparates, bez. der belasteten Hauttheile, versorgen, und eben hierdurch auch die Erregbarkeit und Wiedererholung jener nervösen Endorgane beeinflussen. Es ist aber wohl zu beachten, dass eine derartige Einrichtung lediglich die Adaptation der Sinnesorgane an andauernde Sinnesreize erklären würde und die Bezugnahme auf diese Adaptation nicht im Stande ist, die annähernde Gültigkeit des Weber'schen Gesetzes zu erklären. Denn, wie gesehen, stellt sich auch dann eine gewisse Gültigkeit dieses Gesetzes heraus, wenn 3 verschiedene Helligkeiten mittlerer Intensität gleichzeitig neben einander gegeben werden, so dass sie bei gleicher Erregbarkeit der Netzhaut betrachtet und so lange in ihren Intensitätsverhältnissen regulirt werden können, bis sie 2 gleich merkbliche Helligkeitscontraste bilden.

7. Capitel.

Die Gültigkeit des Weber'schen Gesetzes im Gebiete des Muskelsinnes.

§ 108.

Zur Erklärung der Thatsache, dass wir uns der Kraft unserer Muskelbewegungen ziemlich genau bewusst werden können, hat man ausser einigen anderen, hier nicht weiter in Betracht zu ziehenden Vermuthungen folgende 3 Annahmen gemacht: erstens, dass diese sogenannten Muskelgefühle durch die von den Muskelcontractionen bewirkten Verschiebungen, Zerrungen u. dergl. m. der Haut und der darunter befindlichen Weichtheile mittels Erregung der in diesen Organen verlaufenden, sensiblen Nervenfasern hervorgerufen würden; zweitens, dass das Muskelgefühl in Folge einer centripetal verlaufenden Erregung sensorischer Fasern, welche nebst den motorischen Nervenfasern in den Muskeln enden, entstehe; und drittens, dass wir uns der Stärkegrade der motorischen Innervationen bewusst würden, die wir von gewissen Theilen des Centralorganes aus den Muskeln zukommen lassen. Von diesen 3 Annahmen können wir die erste (aus welcher übrigens, wie man leicht erkennt, der physiologischen Deutung des Weber'schen Gesetzes keinerlei Schwierigkeiten erwachsen würden) ohne Bedenken als hinlänglich widerlegt betrachten, wenn wir auch zugeben, dass für die Beurtheilung der Lage der Glieder und der Richtung ihrer Bewegung jene Hautempfindungen mit von Bedeutung sind. Die 2 anderen Annahmen haben gegenwärtig beide ihre Vertreter und scheinen überhaupt bei Erwägung der Frage, wie man zur Wahrnehmung der angewandten Muskelkraft komme, allein in Betracht zu ziehen sein. Nehmen wir nun an, die oben an dritter Stelle angeführte, von Wundt, Bain u. A. vertretene Ansicht sei die richtige, so scheint, alsdann die Unhaltbarkeit der physiologischen Auffassung des Weber'schen Gesetzes ganz unzweifelhaft zu sein. Denn wenn z. B. die für die Unterscheidung zweier gehobener Gewichte maassgebenden Muskelgefühle wirklich Empfindungen centraler, motorischer Innervationen sind, wie kann dann die Gültigkeit des Weber'schen Gesetzes für den Muskelsinn darin begründet

sein, dass die Nervenerrregung annähernd wie der Logarithmus des Reizes wächst? Dann giebt es ja gar keine Reize, welche die mit den Muskelempfindungen unmittelbar verknüpften körperlichen Thätigkeiten des Centralorganes erst hervorrufen; und die Annahme, dass das Weber'sche Gesetz für den Muskelsinn deshalb Gültigkeit besitze, weil einem constanten absoluten Intensitätszuwuchse des Innervationsgefühles ein constanter relativer Zuwuchs der motorischen Nervenerrregung und der dieser proportionalen Kraft der Muskelcontraction entspreche, scheint sich alsdann fast von selbst zu verstehen. Kurz, wenn wirklich 2 gehobene Gewichte, 2 dem Auge dargebotene Linien u. dergl. m. im Wesentlichen vermöge der motorischen Innervationsgefühle mit einander verglichen werden, die mit der Ausführung der betreffenden Gewichtshebungen oder Bewegungen der Blicklinie verbunden sind, und zwischen der Kraft der Muskelcontraction, der Erregung des motorischen Nerven und der Erregung der mit diesem zusammenhängenden Theile des Centralorganes annähernde Proportionalität besteht, so muss zweifelsohne die physiologische Deutung des Weber'schen Gesetzes als ganz unhaltbar betrachtet werden. Man muss sich wundern, dass dieser Punkt noch nie zu Gunsten der Fechner'schen Auffassung geltend gemacht worden ist. Die Anführung desselben zu Gunsten dieser Auffassung wäre weit gerechtfertigter gewesen als die Berufung auf die sogenannte Thatsache der Reizschwelle, das Parallelgesetz, die Beziehung zwischen Tonhöhe und Schwingungszahl u. dergl. m., zumal da es selbst Forschern wie Helmholtz in Hinblick auf gewisse Erscheinungen bei Parese der Augenmuskeln unzweifelhaft erscheint, dass wir die Richtung der Gesichtslinie weder nach der wirklichen Stellung des Augapfels noch nach der Spannung der Augenmuskeln, sondern nur nach der Willensanstrengung beurtheilen, mittels deren wir die Stellung der Augen zu ändern suchen.

Zweierlei würde die physiologische Auffassung zu ihrer Rechtfertigung anführen können. Erstens könnte sie darauf hinweisen, dass die Annahme annähernder Proportionalität zwischen der Kraft der Muskelcontraction und der Intensität der motorischen Nervenerrregung keine sicher bewiesene und allgemein nothwendige Annahme sei, und die durch irgend welche Zweckmässigkeitsgründe bedingte Gültigkeit des Weber'schen Gesetzes für den Muskelsinn möglicher Weise auch in einem zwischen diesen

beiden Grössen bestehenden logarithmischen Verhältnisse ihren Grund haben könne. Zweitens kann man geltend machen, dass unser Vermögen, gehobene Gewichte oder dem Auge dargebotene Linien mit Feinheit zu unterscheiden, nicht sowohl in einer Fähigkeit begründet sei, die Willensimpulse oder motorischen Innervationsempfindungen zu vergleichen, als vielmehr dadurch zu Stande komme, dass wir die Empfindungen mit einander vergleichen könnten, welche von den Erregungen erweckt würden, die in Folge der Muskelthätigkeit innerhalb der in den Muskeln endenden sensiblen Nervenfasern entstünden. Wir versuchen im Folgenden kurz die Einwände zu prüfen, die man gegen diese schon oben erwähnte Ansicht hauptsächlich erhoben hat. Eine ausführlichere Erörterung dieses Gegenstandes würde uns zu weit abführen und muss anderen Gelegenheiten überlassen bleiben.

Vorausschicken müssen wir noch, dass es uns natürlich nicht in den Sinn kommt, hier zu bestreiten, dass zur Entstehung willkürlicher Bewegungen gewisse psychische Willensimpulse den Anlass geben, die in Wirklichkeit Vorstellungsbilder früherer Empfindungszustände sind und dem Bestreben ihre Entstehung verdanken, jene Seelenzustände, die gewisse Bewegungen unserer Glieder begleiteten oder von ihnen erweckt wurden, wieder zu erzeugen. Das Zugeständniss der Existenz jener Willensimpulse schliesst jedoch nicht ein, dass man die Annahme theile, dass die feine Unterscheidbarkeit gehobener Gewichte, gegebener Linien u. dergl. durch eine Vergleichung jener motorischen Impulse vermittelt werde. Diese Willensimpulse dienen unseres Erachtens eben dazu, bestimmte Muskelbewegungen herbeizuführen oder zu erhalten; und eine ganz oberflächliche und ungenaue Vergleichung der Intensitäten solcher Impulse wird natürlich auch möglich sein. Aber jene genaue Unterscheidungsfähigkeit im Gebiete des Muskelsinnes scheint uns darin begründet zu sein, dass wir ausser der Intensität unserer Willensanstrengung und den etwaigen äusseren Erfolgen derselben (Contraction, Verschiebung der Haut u. dergl.) auch die Spannung der Muskeln, d. h. die Kraft, mit welcher dieselben zu wirken streben, wahrzunehmen vermögen. Und zwar wird, wie wir vermuthen, die Wahrnehmung des Spannungszustandes der Muskeln durch gewisse sensible Nerven vermittelt, welche in den Muskeln enden und für welche der Spannungszustand der Muskelfasern irgendwie zum Reize wird.

§ 109.

Man hat nun gegen diese Ansicht erstens eingewandt, dass überhaupt die Existenz sensibler Muskelnerven eine sehr fragliche sei, weil die Muskeln gegen mechanische, chemische und andere solche Reize unempfindlich zu sein schienen und derartige, sensible Nervenfasern, welche aus den hinteren Rückenmarkswurzeln entspringend in den Muskeln enden, auf anatomischem Wege nicht nachweisbar seien und der Annahme, dass sich etwa sensible Fasern in den motorischen Nervenbündeln der vorderen Rückenmarkswurzeln mit eingebettet fänden, das Bell'sche Gesetz entgegenstehe. Hiergegen ist bemerkt worden, dass erstens nicht nothwendig anzunehmen sei, dass unsere künstlichen Reize die Reizung, welche die inneren Vorgänge bei Spannung und Contraction des Muskels auf die sensiblen Nervenfasern des letzteren ausüben, ersetzen können, und zweitens, wenn dies der Fall sein sollte, die entstehende Empfindung wahrscheinlich eben nur ein Muskelgefühl sein würde, das zu lebhaften Schmerzäusserungen nicht auffordere. Auch werde man in Hinblick auf die bekannten Empfindungen bei Muskelermüdung, Wadenkrampf u. dergl. wohl oder übel die Sensibilität der Muskeln zugeben müssen. Ferner hat neuerdings C. Sachs*) auf anatomisch-physiologischem Wege durch wohl gelungene Versuche bewiesen, dass in den Muskeln des Froschschenkels sensible, aus den hinteren Wurzeln des Rückenmarks entspringende Nervenfasern verlaufen, und dass die Contraction eines nur noch mittels seiner sensiblen Fasern mit den übrigen Körpertheilen zusammenhängenden, der Hautbedeckung entbehrenden Muskels für diese sensiblen Nervenfasern zum Reize wird, so dass sie dazu dienen kann, im Rückenmarke Reflexbewegungen anderer Muskeln auszulösen. Einer älteren Mittheilung von J. W. Arnold, nach welcher das Muskelgefühl des Frosches nach Durchschneidung der hinteren Rückenmarkswurzeln im Wesentlichen sich wohl erhalten zeigen soll, widersprechen die Versuche von Claude Bernard, Munk und C. Sachs (a. a. O. S. 179).

*) C. Sachs, *Physiol. und anat. Untersuchungen über die sensiblen Nerven der Muskeln*, von der medicin. Facultät der Universität zu Berlin gekrönte Preisschrift, in Reichert's Arch. von 1874.

Ein anderer Grund, weswegen die Existenz eigentlicher Muskelempfindungen vielfach angezweifelt worden ist, liegt in den Schwierigkeiten, die es hat, bei Thätigkeit eines oder mehrerer Muskeln solche Muskelempfindungen durch Selbstbeobachtung wirklich wahrzunehmen. Dem gegenüber erinnern wir daran, wie schwer es ist, die Existenz der motorischen Willensimpulse mit Sicherheit durch Selbstbeobachtung zu constatiren. Wenn wir den Arm heben etwa mit einem schweren Gewichte belastet, so nehmen wir zwar leicht gewisse Spannungen und Verschiebungen der Haut mittels des Tastsinnes wahr und bemerken bei geeigneter Schwere des Gewichtes oder geeigneter Dauer der Hebung eine Masse von Eindrücken, welche die angespannte Haltung des Armes und des ganzen Körpers mit sich bringt, darunter auch gewisse den Eindrücken der Muskelermüdung verwandte Eindrücke, deren Ursprung wir in die Muskeln hinein verlegen, aber das Innervationsgefühl, den Willensimpuls, der die Muskelcontraction hervorruft und erhält, mit Sicherheit wahrzunehmen, gelingt uns, wenn wir offen sein sollen, nie. Entsprechendes findet statt, wenn wir uns bei Ausführung von Augenbewegungen beobachten. Dass andere Beobachter viel glücklicher als wir sein werden, will uns zweifelhaft erscheinen. Da sich also die doch kaum bestreitbare Existenz der motorischen Willensimpulse auf dem Wege der Selbstbeobachtung gar nicht oder nur sehr schwer constatiren lässt, so kann man doch auch den Umstand, dass die von uns angenommenen eigentlichen Muskelempfindungen bei Ausführung unwillkürlicher oder willkürlicher Bewegungen nicht leicht wahrnehmbar sind, gegen die Annahme dieser Empfindungen nicht geltend machen. Dies ist um so weniger erlaubt, da sich die eigentlichen Muskelempfindungen, wenn auch oft nur sehr schwer, so doch mit weit grösserer Sicherheit als die motorischen Willensimpulse oder die sogenannten Innervationsgefühle beobachten lassen. Wir begnügen uns damit, aus der hierauf bezüglichen Auseinandersetzung von C. Sachs (a. a. O. S. 186 f.) Folgendes anzuführen: „Lassen wir nur unsere Muskeln spielen, ohne ihre Ansatzpunkte zu nähern, oder ist der Wille ausgeschlossen, wie im Falle elektrischer Erregung der motorischen Nerven, so ist die Empfindung (nämlich die Muskelempfindung) eine weit reinere. Das ausgezeichnetste Mittel, um die Contraction in den Muskeln zu empfinden, ist daher das Hervorrufen derselben durch die loca-

lisirte Faradisation. Es kann keine eigenthümlichere und frap-
pantere Empfindung geben, als z. B. die einseitige Zusammen-
ziehung des M. depressor anguli oris, welche eintritt, wenn die
Elektrode in der Gegend des Unterkieferwinkels aufgesetzt ist.
Man fühlt, wie sich der Mundwinkel senkt und seitwärts drängt,
wie sich die Haut in Falten legt — aber man fühlt noch etwas
Anderes, etwas Schnellendes, Zuckendes, Vibrirendes, Dröhnendes,
eine Empfindung *sui generis*, die Contraction. Dass diese „sen-
sibilité électromusculaire“ auch am freigelegten, von Haut ent-
blössten Muskel wahrzunehmen ist, hat Duchenne schon vor
Jahren nachgewiesen.“

§ 110.

Die Existenz sensibler Muskelnerven und eigentlicher Muskel-
empfindungen scheint nach dem Vorstehenden sicher zu sein.
Allein, auch wenn man dies zugiebt, so kann man doch annehmen,
dass wir die Kraft unserer Muskelthätigkeit in der Hauptsache
nicht mit Hülfe jener Muskelempfindungen, sondern vielmehr
nach der Intensität unserer Willensanstrengungen beurtheilen.
So führt Wundt (Vorles. über Menschen- und Thierseele,
S. 222; Ph. Ps. S. 488), obwohl er die Existenz eigentlicher
Muskelempfindungen nicht in Abrede stellt, gewisse Beobachtungen,
die bei Lähmungen der Muskeln der Extremitäten gemacht worden
seien, als Beweis dafür an, dass die Beurtheilung der vorhandenen
Muskelthätigkeit lediglich von der Intensität des Bewegungs-
impulses abhängt, der von dem die Bewegungsnerven innerviren-
den Centralorgane ausgeht. Er bemerkt Folgendes: „Ein Patient,
der am Bein oder Arm halb gelähmt ist, so dass er nur noch
mit grosser Anstrengung das Glied bewegen kann, hat eine deut-
liche Empfindung von dieser Anstrengung: das Glied kommt
ihm viel schwerer vor als früher, es ist ihm, als wäre es mit
Blei beschwert, er hat also die Empfindung einer grösseren
Kraftleistung als früher, und doch ist die wirklich geleistete
Arbeit die nämliche oder sogar kleiner. Er muss nur, um diese
Kraftleistung zu vollführen, eine stärkere Innervation, einen
stärkeren Bewegungsimpuls wirken lassen. Ebenso täuscht er
sich sehr häufig, namentlich im Anfange der theilweisen Lähmung,
über den Umfang seiner Bewegungen. Seine Schritte werden
kurz und unsicher, er trifft die Gegenstände nicht, die er mit

der Hand erfassen will. Erst allmählich, wenn der Zustand längere Zeit unverändert anhält, erhält der Kranke oft wieder eine gewisse Sicherheit in seinen Bewegungen, indem er sich offenbar durch lange Einübung in dem neuen System seiner Muskelempfindungen zurecht findet.“

Wenn ein Patient der hier angegebenen Art äussert, das gelähmte Glied komme ihm viel schwerer vor als früher, gleichsam wie mit Blei beschwert, so erklärt sich dies doch leicht dadurch, dass auf diejenigen Willensimpulse, mit deren Eintreten sonst die Wahrnehmung einer ausgiebigeren Bewegung des betreffenden Gliedes verknüpft war, und an die sich gemäss den Gesetzen der Reproduction der Vorstellungen auch jetzt die Erwartung einer ausgiebigeren Bewegung knüpft, eine dieser Erwartung nicht entsprechende Bewegung geringer Weite oder gar ein Beharren des gelähmten Gliedes in seiner Ruhelage folgt und dem Patienten dieser Widerspruch zwischen Erwartung und Wahrnehmung nicht entgeht. Da man ähnliche Enttäuschungen betreffs des Umfanges der eintretenden Bewegungen erfahren würde, wenn das betreffende Glied schwerer als sonst oder mit Blei belastet wäre, so schildert der Kranke seinen Zustand eben in der von Wundt angegebenen Weise. Der Umstand ferner, dass im Falle solcher Muskellähmung die Willensimpulse, welche der Kranke gewohnt ist als zureichend zur Ausführung von Schritten mässiger Länge oder zur Erreichung gewisser Objecte mit den Händen anzusehen, nicht mehr im Stande sind, die beabsichtigten Bewegungen vollständig hervorzurufen, ist doch eine einfache Folge der eingetretenen Muskellähmung und ganz ungeeignet darzuthun, dass der sogenannte Kraftsinn nur durch das sogenannte Innervationsgefühl vermittelt werde; und es liegt sogar sehr nahe, die Thatsache, dass die Schritte der Patienten nicht bloss kurz, sondern auch unsicher werden, durch die Annahme zu erklären, dass die Kranken an den durch ihre Willensimpulse indirect hervorgerufenen Muskelempfindungen die gewöhnliche Intensität vermissen.

Die von Wundt angeführten Beobachtungen sagen also darüber gar nichts aus, ob z. B. bei Vergleichung zweier gehobener Gewichte die eigentlichen Muskelempfindungen oder die sogenannten Innervationsgefühle maassgebend seien, geschweige denn, dass sie die Nichtexistenz jener Muskelempfindungen ergäben. Nur das geht aus jenen Beobachtungen hervor, dass

unsere Willensimpulse erstens je nach den Zuständen der Muskeln, auf deren Bewegungen sie hinzielen, verschieden ausgiebige Bewegungen hervorrufen, und zweitens ebenso wie alle anderen Vorstellungsbilder nach den Gesetzen der Reproduction der Vorstellungen gewisse andere Vorstellungen zu reproduciren und die Erwartung des Eintrittes gewisser Wahrnehmungen mit sich zu führen vermögen.

Ganz besonderes Gewicht pflegt man den bekannten Beobachtungen beizulegen, die man bei Lähmung einzelner Augenmuskeln gemacht hat. Ist z. B. der äussere gerade Muskel des rechten Auges gelähmt und versucht der Patient dieses Auge bei Verschluss des andern Auges nach aussen zu wenden, so bewegen sich die wahrgenommenen Objecte scheinbar nach rechts, obgleich die Stellung des rechten Auges und der Netzhautbilder desselben unverändert bleibt. Ist die Lähmung eine unvollständige, so dass das Auge zwar ein nach aussen liegendes Object noch fixiren kann, aber dazu eines grösseren Aufwandes von Innervation des gelähmten Muskels bedarf als im normalen Zustande, so tritt eine falsche Vorstellung von der Richtung der Gesichtslinie und von der Lage des Objectes ein; dies zeigt sich darin, dass der Patient, aufgefordert, schnell nach dem Objecte zu greifen, nach aussen daneben greift. Wenn Helmholtz (Ph. O. S. 600) meint, dass derartige Beobachtungen keinen Zweifel darüber liessen, dass wir die Richtung der Gesichtslinie nur nach der Willensanstrengung beurtheilen, mittels deren wir die Stellung der Augen zu ändern suchen, so können wir dem durchaus nicht beipflichten. Helmholtz bemerkt, im Falle eines gelähmten Augenmuskels habe der Willensimpuls ausserhalb des Nervensystemes gar keine Folgen, und doch werde über die Richtung der Gesichtslinie so geurtheilt, als habe der Wille die normale Augenbewegung bewirkt; mithin müsse für die Beurtheilung der Richtung der Gesichtslinie allein die Intensität des angewandten Willensimpulses maassgebend sein. Der Willensimpuls hat aber in jenen Fällen auch ausserhalb des Nervensystemes sehr wohl einen gewissen Vorgang zu Folge, nämlich eine Bewegung des verschlossenen Auges, dessen Muskel nicht gelähmt ist. Helmholtz sagt ja selbst, dass die Scheinbewegungen, welche die Patienten wahrnehmen, wenn sie das Auge in der Richtung zu bewegen streben, nach der sie es nicht mehr bewegen können, bei gleichzeitig geöffnetem anderen Auge Doppelbilder hervorbringen. Diese

Doppelbilder rühren thatsächlich eben daher, dass das andere Auge die Bewegung, welche das Auge, dessen Muskel gelähmt ist, nicht oder nur unvollständig auszuführen vermag, gemäss dem Principe der gleichmässigen Innervation beider Augen ganz normaler Weise vollendet. Dieser ganz normal vollendeten Contraction des anderen Auges entspricht aber eine Muskelempfindung, deren Intensität in ganz demselben Verhältnisse wie sonst zur Stärke des angewandten Willensimpulses steht. Wenn daher auch im obigen Falle die Muskelempfindung des gelähmten Aussenwenders des rechten Auges nicht diejenige Intensität besitzt, welche sie sonst bei gleichem Willensimpulse besass, so ist doch leicht möglich, dass die vorhandene Muskelempfindung des entsprechenden, nicht gelähmten Muskels des linken Auges diesen Umstand so zu sagen ganz verdeckt und bewirkt, dass die Lage des mit dem rechten Auge fixirten Objectes gerade so geschätzt wird, wie sie sonst bei der vorhandenen Contraction des linken Rechtswenders und den vorhandenen Zuständen der übrigen Muskeln (den rechten Aussenwender ausgeschlossen) beurtheilt zu werden pflegte.

Des Näheren scheint sich die Sache folgendermaassen zu verhalten. Im Allgemeinen lässt sich sagen, dass jede Beurtheilung der Lage eines fixirten Objectes auch bei Verschluss oder Verdeckung des einen Auges sich auf die Muskelempfindungen stützt, welche den vorhandenen Contractionen der Muskeln beider Augen entsprechen. Dies lehrt z. B. der von Helmholtz (Ph. O. S. 607 f.) besprochene Versuch, betreffs dessen dieser Forscher sich folgendermaassen äussert: „Es hat also nicht nur die Stellung des sehenden Auges *A*, sondern auch die des geschlossenen Auges *B* Einfluss auf unsere Beurtheilung der Richtung, in der der fixirte Gegenstand liegt. Wenn das geöffnete Auge unbeweglich stehen bleibt, das geschlossene Auge sich aber nach rechts oder links bewegt, bewegt sich scheinbar auch der vom geöffneten Auge fixirte Gegenstand nach rechts oder links.“ Wird also z. B. ein in unendlicher Ferne rechts vor uns gelegenes Object bei Verschluss des einen Auges fixirt, so werden unter normalen Verhältnissen die beiden Rechtswender in gleichem Maasse contrahirt; diese beiden Contractionen sind mit gewissen Erregungen sensibler Muskelnervenfasern und entsprechenden Empfindungen verknüpft, und auf diesen letzteren fusst alsdann unser Urtheil über die Lage des fixirten Objectes.

Nehmen wir nun an, es habe der Aussenwender des rechten Auges ganz vor Kurzem eine unvollständige Lähmung erfahren, das linke Auge sei verdeckt oder verschlossen und das zu fixirende Object befinde sich gleichfalls rechts vor uns in unendlicher Ferne. Alsdann werden die motorischen Impulse, welche beiden Rechtswendern ertheilt werden, so lange gesteigert, bis die Gesichtslinie des rechten Auges das betreffende Object trifft, und in Folge der angegebenen Muskellähmung tritt alsdann der Fall ein, dass die Contraction des linken Rechtswenders eine beträchtlichere ist als die des entsprechenden Muskels des rechten Auges. Es ist nun zu beachten, dass ein solcher Fall, wo die beiden Rechtswender in ungleichem Maasse contrahirt sind und die zwei Linkswender — von einem etwaigen beständigen Tonus aller Augenmuskeln abgesehen — sich beide im Ruhezustande befinden, unter normalen Verhältnissen niemals vorkommt. Unter normalen Umständen sind beide Rechtswender entweder (bei Fixation eines in weiter Ferne rechts vor uns befindlichen Objectes) in gleichem Maasse contrahirt oder, wenn dies (bei Betrachtung eines rechts gelegenen nahen Gegenstandes) nicht der Fall ist, so ist immer noch ausserdem der rechte Innenwender in merklichem Maasse contrahirt. Der Patient wird daher in dem angegebenen Falle nur dann die vorhandenen Muskelempfindungen zu seinen früheren Erfahrungen in Beziehung setzen und auf Grund der vorhandenen Muskelcontractionen ein Urtheil über die Lage des fixirten Objectes fällen können, wenn er von den einander gewissermaassen widersprechenden Muskelempfindungen der beiden Rechtswender nur die eine so zu sagen als die richtige und maassgebende betrachtet, und zwar liegt es nahe, vorauszusetzen, dass unter solchen Umständen der bevorzugte Augenmuskel immer der stärker contrahirte sei. Letztere Voraussetzung wird auch durch die Thatsache bestätigt, dass der Patient dann, wenn er das linke Auge benutzt und das rechte schliesst oder verdeckt, die Lage des fixirten Objectes ganz richtig beurtheilt. Diese Thatsache ergiebt mit voller Sicherheit, dass für das Urtheil des Patienten von den beiden einander gewissermaassen widersprechenden Contractionszuständen beider Rechtswender derjenige des linken Rechtswenders der maassgebende ist. Da nun die Art und Weise, wie unser Urtheil über die Lage eines fixirten Objectes auf den Muskelempfindungen der Augenmuskeln fusst, ganz dieselbe ist, mögen wir dieses

oder jenes Auge verdecken, so wird auch dann, wenn das linke Auge des Patienten bedeckt oder verschlossen und das rechte benutzt wird, die Lage des fixirten Objectes nach der Contraction des gesunden Rechtswenders des verdeckten linken Auges beurtheilt und in Folge dessen das Object zu weit nach rechts verlegt.

Auf solche Weise scheinen sich die sogenannten Projection-anomalien, die sich bei plötzlich eingetretener Lähmung eines Augenmuskels im Falle der Fixation eines sehr fernen Objectes beobachten lassen, hinlänglich zu erklären. Im Bisherigen haben wir nur die Fälle unvollständiger Lähmung berücksichtigt; die Fälle vollständiger Muskellähmung bedürfen jedoch keiner weiteren Erörterung; in denselben ist selbstverständlich immer nur der Contractionszustand des einen gesunden Muskels des in Frage kommenden Muskelpaares für das Urtheil über die Lage des monocular fixirten Objectes maassgebend. Ganz ähnlich wie bei Fixation eines in weiter Ferne befindlichen Gegenstandes verhält es sich nun auch, wenn sich das Object, welches von einem Patienten, dessen rechter Aussenwender gelähmt ist, bei verdecktem linken Auge zu fixiren ist, nicht in weiter Ferne, sondern in der Nähe rechts vor dem Patienten befindet. Ist ein Object in solcher Lage gegeben, so werden dann bei verschlossenem linken Auge entweder (vergl. Wundt, Ph. Ps. S. 579 f.) gleichfalls nur die beiden Rechtswender in gleichem Maasse innervirt, so dass unter normalen Verhältnissen das linke Auge parallel zu dem fixirenden rechten Auge steht, oder es erhalten noch ausserdem die beiden Innenwender, von denen der eine mit dem Rechtswender des linken Auges identisch ist, gleiche motorische Impulse, so dass also thatsächlich die beiden Rechtswender in ungleichem Maasse innervirt werden und noch ausserdem der Innenwender des rechten Auges motorische Impulse erhält. Findet der erstere von diesen beiden möglichen Fällen statt, so erklärt sich der Irrthum, welchen der Patient bei Beurtheilung der Lage des mit dem rechten Auge fixirten Objectes begeht, in ganz derselben Weise wie oben. Findet der zweite Fall statt, so wird auch dann der Aussenwender des rechten Auges des Patienten in abnorm geringem Maasse contrahirt, so dass ein solcher Contractionszustand dieses Muskels eintritt, wie unter normalen Verhältnissen thatsächlich niemals vorhanden war, wenn der linke Rechtswender und der rechte

Innenwender sich in denselben Contractionszuständen befanden, in denen sie sich im vorausgesetzten Falle thatsächlich befinden. Es sind also auch dann die Contractionsverhältnisse der Augenmuskeln andere, als unter normalen Verhältnissen jemals vorkommen, und der Patient wird dieselben nur dann in Beziehung zu seinen früheren Erfahrungen setzen und ein Urtheil über die Lage des fixirten Objectes fällen können, wenn er von den einander gewissermaassen widersprechenden Muskelempfindungen der beiden Rechtswender die weit intensivere, also diejenige des Rechtswenders des linken Auges, als die maassgebende gelten lässt und auf Grund der Contractionszustände dieses Muskels und des rechten Innenwenders, durch welche die seitliche Lage des fixirten Objectes bereits eindeutig bestimmt ist, das letztere zu weit nach rechts in die Nähe verlegt.

Aus dem Bisherigen erkennt man hinlänglich, wie wir die Projectionsanomalien auffassen, die man in Fällen vollständiger oder unvollständiger Augenmuskellähmung beobachtet hat. Wir gehen von der Thatsache aus, dass für die Beurtheilung der Richtung, in welcher ein fixirtes Object liegt, unter normalen Umständen die Zustände der Muskeln beider Augen maassgebend sind, und zwar auch dann, wenn das eine Auge bedeckt oder geschlossen wird. Wird nun aber plötzlich ein Augenmuskel des einen Auges gelähmt, so werden dann, wenn dieses Auge in der Bahn des erkrankten Muskels bewegt wird oder wenigstens der Versuch zu einer solchen Bewegung gemacht wird, die Contractionsverhältnisse der Augenmuskeln ganz andere sein, als unter normalen Verhältnissen jemals vorkommen, und es wird alsdann ein Urtheil über die Lage des fixirten Objectes nur so zu Stande kommen können, dass von den Muskelempfindungen der beiden Muskeln, welche die Augen nach rechts, bez. links*), führen, nur die eine, und zwar die intensivere, sich als die maassgebende geltend macht. Unter solchen Umständen muss aber bei Verschluss des gesunden Auges die Lage des Objectes, welches wir mit dem erkrankten Auge fixiren oder wenigstens zu fixiren suchen, nothwendig falsch beurtheilt werden. Vielleicht

*) Das Entsprechende gilt selbstverständlich auch dann, wenn es sich bei Lähmung eines oder mehrerer der Auf- oder Abwärtswender um eine (nicht bloss durch 2 Muskeln vermittelte) Hebung oder Senkung beider Augen handelt.

wird man uns einwenden wollen, dass, wenn bei eingetretener Augenmuskellähmung unter gewissen Umständen von der Contractionsgrösse eines Muskels ganz abstrahirt werden müsse, damit überhaupt ein Urtheil über die Lage des Fixationsobjectes gefällt werden könne, es am nächsten liege, dass der bevorzugte Muskel bei Verschluss des einen Auges immer der Muskel des offenen, fixirenden Auges sei. Allein die Berechtigung dieses Einwandes ist nur eine scheinbare, da in Folge der durchgängigen gleichmässigen Innervation der Muskeln beider Augen die Lichtempfindungen des einen Auges mit den Muskelempfindungen der Muskeln dieses Auges in keiner Weise enger associirt sind als mit den Muskelempfindungen der Muskeln des anderen Auges und wir in Folge dessen bei Verschluss des einen Auges in Ermangelung jeglichen Anhaltspunktes gar nicht im Stande sind, zu erkennen, ob eine bestimmte Muskelempfindung von einem Muskel des offenen oder des verschlossenen Auges herrühre. Man könnte übrigens geneigt sein, den Umstand, dass sich in jenen Fällen der Augenmuskellähmung immer der stärker contrahirte Muskel als der maassgebende geltend macht, durch die Annahme zu erklären, dass die Zustände der beiden Rechtswender, Linkswender u. s. w. uns gar nicht in 2 unterschiedenen Empfindungen, sondern immer nur in einer einzigen resultirenden Muskelempfindung zum Bewusstsein kämen. Ebenso wie nun die Intensität der Gesichtsempfindung, welche ein bestimmter Lichtreiz bei Einwirkung auf nur eine der beiden Netzhäute zu Folge habe, unter gewöhnlichen Verhältnissen von der Intensität der Lichtempfindung, welche bei Einwirkung desselben Reizes auf correspondirende Stellen beider Netzhäute stattfinde, kaum merklich verschieden sei, so sei auch die Intensität derjenigen Muskelempfindung, welche nach erfolgter vollständiger Lähmung des rechten Aussenwenders bei dem Versuche, die Augen nach rechts zu bewegen, eintrete und lediglich durch eine Contraction des linken Rechtswenders hervorgerufen werde, von der Intensität derjenigen Empfindung kaum merklich verschieden, welche dann eintrete, wenn unter normalen Verhältnissen nicht bloss der linke, sondern auch der rechte Rechtswender diejenige Contraction erfahre, welche im angegebenen Lähmungsfalle lediglich der erstere Muskel erleide. Kurz, mit den Muskelempfindungen der Augenmuskeln verhalte es sich ähnlich, wie es sich unter gewissen Bedingungen mit den Gesichtsempfindungen verhalte;

die Intensität der Muskelempfindung z. B., welche bei Contraction beider Rechtswender eintrete, sei im Wesentlichen nur von dem Maasse der Zusammenziehung des stärker contrahirten der beiden Muskeln abhängig, sie bleibe merklich unverändert, wenn der linke Rechtswender in demselben Grade contrahirt bleibe, aber die anfänglich gleich grosse Contraction des anderen Rechtswenders sich verringere und sogar gleich 0 werde. Es sei daher selbstverständlich, dass bei Lähmung des rechten Rechtswenders für unser Urtheil über die Lage eines rechts vor uns befindlichen fixirten Objectes immer die ausgiebigere Contraction des linken Rechtswenders maassgebend sei, weil eben lediglich von dieser die Intensität der eintretenden Muskelempfindung, nach welcher wir die Lage des Fixationsobjectes beurtheilen, abhängig sei.

Es würde uns zu weit abführen, wollten wir diese Vermuthungen hier noch ausführlicher erörtern. Nicht uninteressant dürfte es sein, sich kurz zu vergegenwärtigen, welches Verhalten einerseits nach der von Wundt, Helmholtz u. A. vertretenen Auffassung und andererseits nach der von uns im Vorstehenden angedeuteten Ansicht diejenigen Patienten zeigen müssen, welche nicht an paralytischen, sondern vielmehr an spastischen Affectionen der Augenmuskeln leiden, bei denen der kranke Muskel den motorischen Willensimpuls nicht mit einer abnorm geringen, sondern vielmehr mit einer abnorm ausgiebigen Contraction beantwortet. Nehmen wir an, der Patient leide an Spasmus des rechten Aussenwenders, so wird derselbe nach der herrschenden Ansicht bei verschlossenem linken Auge ein rechts vor ihm befindliches Object zu weit nach links verlegen, weil er jetzt, um die Fixationsbewegung nach rechts auszuführen, einen weniger intensiven Willensimpuls anzuwenden braucht als früher. Nach den von uns angedeuteten Vermuthungen hingegen wird von den beiden einander gewissermaassen widersprechenden Contractionen des rechten und des linken Rechtswenders diejenige des ersteren Muskels als die intensivere für das Urtheil des Patienten die maassgebende sein, mithin gerade bei Verschluss des linken Auges die Lage des fixirten Objectes ganz richtig beurtheilt werden. Es wird daher zweifelsohne die Entscheidung zu Gunsten der von uns angedeuteten Vermuthungen gegen die herrschende, von Wundt, Helmholtz u. A. getheilte Ansicht zu fällen sein, wenn sich mit Sicherheit herausstellt, dass im Gegensatze zu den Erfahrungen, die man bei paralytischen Affectionen der

Augenmuskeln gemacht hat, bei spastischen Erkrankungen dieser Muskeln die Lage eines Gesichtsobjectes gerade dann immer ganz richtig beurtheilt wird, wenn dasselbe mit demjenigen Auge, dessen Muskel erkrankt ist, fixirt wird. Alfred Gräfe (Klinische Analyse der Motilitätsstörungen etc., S. 201) berichtet betreffs der beiden Krankheitsfälle, welche er mit Albrecht von Gräfe's Zustimmung für Fälle spastischer Augenmuskelerkrankung erklärte, unter Anderem Folgendes: „Man müsste a priori glauben, dass ein an Spasmus des R. inferior leidender Kranker bei Verschluss des gesunden Auges und geeigneter Richtung der Visirlinie (nach unten) das Gesichtsfeld zu weit nach oben hin projicire, wie umgekehrt ein mit Paralyse dieses Muskels Behafteter dasselbe zu weit nach unten versetzt. . . . Wurden zur Prüfung dieser Verhältnisse die beiden Patienten aufgefordert, bei Verschluss des gesunden Auges auf Objecte, welche in die geeignete Lage gebracht waren, schnell mit dem Finger loszustossen, so trafen sie diese entweder oder stiessen in ganz uncharakteristischer Weise an denselben vorbei.“

Wir geben gern zu, dass jene Beobachtungen Gräfe's noch in mehrfacher Hinsicht der Bestätigung bedürfen.*) Zum mindesten muss uns aber zugestanden werden, dass die Annahme, nach welcher die Bewegungen unserer Blicklinien auf Grund von Erregungen sensibler Muskelnerven oder vielmehr auf Grund erweckter eigentlicher Muskelempfindungen beurtheilt werden, der Gesamtheit dessen, was man bisher bei paralytischen und spastischen Augenmuskelerkrankungen beobachtet zu haben glaubt, vollkommen gerecht zu werden vermag. Man hat bei Beurtheilung der Erfahrungen, die man in Fällen von Augenmuskellähmung gemacht hat, bisher die Wichtigkeit des Umstandes ganz übersehen, dass der Willensimpuls, welcher den erkrankten Muskel entweder in gar keine oder wenigstens nur in eine abnorm geringe Contraction versetzt, von dem entsprechenden, gesunden Muskel des anderen, verdeckten Auges mit einer Contraction von ganz normaler Grösse beantwortet wird. Nur dann, wenn sich bei ganz gleicher Lähmung zweier entsprechender Augen-

*) Der Symptomencomplex jener beiden Krankheitsfälle scheint nicht einmal nothwendig die Annahme spastischer Muskelerkrankungen zu fordern (vergl. Alfred Gräfe im Handbuch der ges. Augenheilkunde, redigirt von A. Gräfe und Th. Sämis, 6. Bd., erste Hälfte, S. 219).

muskeln, z. B. der beiden Rechtswender, ganz dieselben Projectionsanomalien constatiren lassen sollten, wie sich bei Lähmung eines einzigen Augenmuskels beobachten lassen*), nur dann würde man vielleicht zu der Behauptung berechtigt sein, dass die in Fällen der Augenmuskellähmung beobachteten Phänomene sich lediglich mit der Annahme vertrügen, dass „wir die Richtung der Gesichtslinie nur beurtheilen nach der Willensanstrengung, mittels der wir die Stellung der Augen zu ändern suchen.“ Dasselbe, was von den Fällen der Lähmung einzelner Bewegungsmuskeln des Auges gilt, muss auch betreffs der Fälle einseitiger Lähmung der Accommodationsmuskeln geltend gemacht werden, bei denen man Aehnliches beobachtet hat wie bei Lähmung eines Bewegungsmuskels des Auges, und aus denen man (vergl. Förster, Ophthalmologische Beiträge, S. 72 ff.) gleichfalls gefolgert hat, dass wir die Thätigkeit unserer Augenmuskeln, insonderheit der Accommodationsmuskeln, im Wesentlichen nach den angewandten Willensimpulsen beurtheilen. Man hat auch hier übersehen, dass bei Lähmung des Accommodationsapparates des einen Auges der Accommodationsapparat des anderen Auges auf jeden Willensimpuls, der eine Accommodationsänderung bezweckt, in ganz normaler Weise reagirt und zwar auch dann, wenn das gesunde Auge verschlossen ist, und dass ausserdem auch noch, wie z. B. das von Helmholtz (Ph. O. S. 607) angeführte Beispiel darthut, die Innenwender beider Augen bei einem derartigen Willensimpulse entsprechende Aenderungen ihres Contractionszustandes erleiden. Zum Schlusse möchten wir noch zu bedenken geben, dass die Accommodation und die Einstellung unserer Augen auf das Fixationsobject doch ganz ohne Zweifel in der grossen Mehrzahl der Fälle rein unwillkürlich in Folge von Reflexwirkung vor sich geht. Wäre daher die Ansicht richtig, dass wir die Stellungen unserer Gesichtslinien nur nach den Willensanstrengungen zu beurtheilen vermögen, mittels deren

*) A. Gräfe theilt (im Handbuch der ges. Augenheilkunde etc., 6. Bd., erste Hälfte, S. 58) den Symptomencomplex von 4 Krankheitsfällen mit, wo associative Lähmung zweier correspondirender Augenmuskeln bestand, vermerkt aber dabei nirgends, dass er Projectionsanomalien constatirt habe, wenn er auch weiterhin vom Standpunkte seiner Auffassung aus darauf schliesst, dass auch bei solchen Associationslähmungen zweier entsprechender Augenmuskeln Projectionsanomalien bestehen müssten.

wir die Augenstellungen willkürlich verändern und festhalten, so müssten wir uns meistens, nämlich immer dann, wenn wir unsere Augen unwillkürlich bewegt haben, in Unklarheit betreffs der Lage der von uns wahrgenommenen Objecte befinden; was aber in Wirklichkeit durchaus nicht der Fall ist.

So viel über die Erfahrungen, die man bei Muskellähmungen, insbesondere bei Lähmung der Augenmuskeln*) gemacht hat. Ein dem Zustande der Muskellähmung vergleichbarer Zustand ist übrigens beim Gesunden dann vorhanden, wenn der Nervenstamm eines Gliedes durch Compression leitungsunfähig geworden oder kurz das Glied eingeschlafen ist. „Unter solchen Umständen“, bemerkt Lotze (*Medic. Ps.*, S. 310) mit Recht, „empfinden wir zwar wohl das Glied als eine träge und schwere Masse, die an den Theilen hängt, deren Nerven noch perceptionsfähig sind, aber wir sind nicht im Stande, durch Willensimpuls es zu bewegen, und in diesem Falle entsteht auch bei der angestrengtesten Bemühung des Willens, auf das Glied einzuwirken, kein Bewegungsgefühl. Da nun die Mittheilung des Willensimpulses an den Nerven bis zu der Stelle, wo der Druck ihn leitungsunfähig macht, kein Hinderniss findet, so müssen wir daraus schliessen, dass das Bewegungsgefühl nicht in der Wahrnehmung der Einwirkung unseres Willens auf die Muskeln, sondern in der Wahrnehmung der Veränderungsgrösse besteht, welche die Innervation in dem sich contrahirenden Muskel herbeibringt.“

Da man nun einmal behauptet, dass die pathologischen Erfahrungen gegen die Annahme eigentlicher Muskelempfindungen oder wenigstens gegen die Annahme grösserer Bedeutung derselben für die Beurtheilung unserer Muskelthätigkeit sprächen,

*) Aehnliche Projectionsanomalien wie bei Parese der Augenmuskeln lassen sich übrigens auch dann, wenn Schielende vor Kurzem mittels Tenotomie operirt sind, und in anderen ähnlichen Fällen beobachten. Aus derartigen Fällen lässt sich jedoch vollends nichts Entscheidendes betreffs der uns hier beschäftigenden Frage erschliessen. Denn bei den wegen Strabismus Operirten hat sich nur die äussere mechanische Wirkung geändert, welche auf gewisse Willensimpulse hin eintritt, nicht aber die Kraft, mit der die Muskelfasern in Folge der Willensimpulse zu wirken streben. Und eben diese Kraft der inneren Muskelthätigkeit kommt uns nach der von uns vertretenen Ansicht in dem sogenannten Kraftsinne zum Bewusstsein.

so scheint es ganz am Orte zu sein, wenn wir hier folgende Auslassung Maudsley's (Physiologie und Pathologie der Seele, deutsch von Böhm, S. 183 ff.) anführen: „Damit der Wille eine Bewegung in's Werk setzen könne, ist daher nicht nur eine Vorstellung von dem verlangten Enderfolg und eine Bewegungsanschauung von den zu diesem Zwecke dienenden Muskelbewegungen erforderlich, sondern es muss nothwendig auch ein Sinn für die Thätigkeit der Muskeln vorhanden sein. Alle psychologischen Gründe, die für den Werth dieses leitenden Muskelgefühles geltend gemacht werden könnten, macht die pathologische Erfahrung überflüssig, die uns klar beweist, dass überall da, wo der Muskelsinn gelähmt ist, die Bewegungen nicht mehr ausgeführt werden können, wenn nicht ein anderer Sinn zu Hülfe gerufen wird. Diese Hülfe leistet nun gewöhnlich der Gesichtssinn. Sir Charles Bell sah eine Frau, die den Muskelsinn in einem Arm verloren hatte und dessen ungeachtet im Stande war, ihr Kind auf dem Arm zu tragen; sobald sie aber ihre Auge davon hinwegwandte, liess sie das Kind fallen. Ich habe jüngst einen ähnlichen Fall bei einer in Folge von Syphilis epileptisch gewordenen Frau beobachtet; sie hatte den Muskelsinn im linken Arm verloren und wusste nicht, ob sie etwas in der Hand hielt oder nicht, wenn sie nicht die Augen darauf richtete; wenn sie einen Krug fasste, konnte sie ihn sehr gut festhalten, so lange sie hinsah; sobald sie aber die Augen davon abwandte, liess sie ihn zu Boden fallen; der Tastsinn war bei dieser Frau erhalten“ u. s. w. Beobachtungen solcher Art, wie hier von Maudsley angeführt werden, sind offenbar mit der Annahme, dass die Vergleichung gehobener Gewichte oder dem Auge dargebotener Liniengrössen durch das sogenannte centrale Innervationsbewusstsein vermittelt werde, ganz unvereinbar. Denn wenn man bei Lähmung der sensorischen Muskelnerven eines Gliedes trotz jenes Innervationsbewusstseins ohne Zuhülfenahme des Gesichtssinnes nicht einmal weiss, ob die mit den Muskeln des erkrankten Gliedes zusammenhängenden motorischen Nervenorgane noch in der Erregung beharren, die zur Erhaltung einer gewissen Muskelthätigkeit erforderlich ist, so können wir doch nicht annehmen, dass z. B. bei Fechner's Gewichtsversuchen, bei denen die Hebungszeit ohne merkliche Beeinträchtigung der Unterschiedsempfindlichkeit auf 4 Secunden ausgedehnt wurde, die geringen Gewichtsunterschiede mittels jenes Innervations-

bewusstseins wahrgenommen worden seien. Wenn man vermöge des letzteren im Falle der Lähmung des eigentlichen Muskelsinnes kaum weiss, ob die motorische Erregung überhaupt noch besteht, so ist es doch wohl unmöglich, dass man vermöge jener Innervationsgefühle noch einen Unterschied motorischer Erregungen wahrnehme, welchem der relative Gewichtsunterschied $\frac{1}{70}$ entspricht.

§ 111.

Im Bisherigen haben wir gesehen, dass die Einwände, welche man hauptsächlich gegen die Annahme sensibler Muskelnerven und eigentlicher Muskelempfindungen erhoben hat, durch die Erfahrung hinlänglich widerlegt werden und insbesondere auch die zur Zeit vorliegenden pathologischen Erfahrungen nicht gegen, sondern weit eher für die Vermuthung sprechen, dass die Beurtheilung der Kraft unserer Muskelthätigkeit im Wesentlichen nur durch jene eigentlichen Muskelempfindungen vermittelt werde. Die Erwägung pathologischer Erfahrungen, des Muskelschmerzes und anderer ähnlicher Thatsachen hat auch schon längst eine Reihe von Forschern, wie Joh. Müller, Bell, E. H. Weber, Du Bois-Reymond, Fick, Funke u. v. A. zur Annahme sensibler, centripetal leitender Muskelnerven veranlasst. Die erwähnten, äusserst schätzenswerthen Untersuchungen von C. Sachs, der, wie bemerkt, den experimentellen Nachweis dafür geliefert hat, dass die Contraction eines Froschschenkelmuskels eine Erregung sensibler, aus den hinteren Rückenmarkswurzeln entspringender und in dem Muskel endender Nervenfasern bewirkt, müssen als ein besonders wichtiger Beitrag zur weiteren Begründung und Sicherung dieser Annahme*) betrachtet werden. Ganz besondere

*) Zur Bestätigung dieser Annahme scheint auch der bereits erwähnte Versuch von Claude Bernard zu dienen, welcher fand, dass bei Fröschen, denen man die Haut abgezogen hat, die Fähigkeit des Schwimmens, Springens u. s. w. nicht wesentlich beeinträchtigt ist, wohl aber nach Durchschneidung der hinteren Wurzeln des n. ischiadicus die Coordination der Bewegungen wesentlich gestört ist. Allerdings könnte man diesen Versuch, welchen C. Sachs bestätigt fand und Prof. Munk in seinen Vorlesungen alljährlich mit sicherem Erfolge demonstriert, allenfalls auch so deuten, dass man annimmt, der durch die Durchschneidung

Beachtung verdienen auch die Versuche, welche Bernhardt (Arch. f. Psychiatrie, III, S. 627 ff.) in der Erwartung angestellt hat, die Frage, wie der sogenannte Kraftsinn vermittelt werde, in endgültiger Weise, und zwar gegen die von uns vertretene Ansicht entscheiden zu können. Bernhardt bestimmte die Unterschiedsempfindlichkeit des Kraftsinnes, indem er durch eine Flexion des Fingers oder des Fusses mittels einer Schnur, welche ohne grosse Reibung über eine Rolle lief, Gewichte von verschiedener Grösse heben liess. Die Erregung der Muskeln geschah im einen Falle durch den Willen, im anderen Falle durch elektrische Reizung mittels localisirter Faradisation. Im letzteren Falle, bei Ausschluss des Willens, zeigte sich die Unterschiedsempfindlichkeit etwas geringer, wenn die Gewichte durch Dorsalflexion eines Fusses gehoben wurden. Wurde hingegen ein Finger benutzt, so war das Unterscheidungsvermögen in beiden Fällen ganz das nämliche. Bernhardt versuchte die Haut durch Chloroform oder Aether zu anästhesiren, in der Erwartung, dass unter solchen Umständen bei Ausschluss des Willensimpulses das Unterscheidungsvermögen gänzlich schwinden werde. Eine absolute Anästhesie der Haut liess sich jedoch in keinem Falle erzielen; es gelang nur, die Empfindlichkeit bis zu einem gewissen Grade herabzudrücken; aber auch hierdurch wurden die Versuchsergebnisse nicht wesentlich geändert; die Feinheit des Kraftsinnes blieb die nämliche wie zuvor. Einen besseren Beweis dafür, dass eine Willensanstrengung unsererseits gar nicht erforderlich für die Function des sogenannten Kraftsinnes ist, als Versuche dieser Art kann man sich kaum denken. Denn da nach diesen Versuchen Bernhardt's die Empfindlichkeit für Unter-

der hinteren Rückenmarkswurzeln entstehende Wundreiz über den Gesetzen der Nervenhemmung gemäss einen störenden Einfluss auf die in Betracht kommenden motorischen Nervencentren aus. — Nebenbei bemerken wir, dass an und für sich der Nachweis in den Muskeln endender sensibler Nervenfasern nicht genügt, um die Existenz eigentlicher Muskelempfindungen mit Sicherheit darzuthun. Denn es könnten ja diese Nervenfasern lediglich die Bestimmung haben, den Centralorganen gewisser organischer Thätigkeiten, welche bei eintretender Muskelthätigkeit in etwas erhöhtem Maasse vor sich gehen, z. B. dem Centralorgane der Athmung, steigernde Erregungsimpulse zuzuleiten, sobald die Thätigkeit des Muskels einen gewissen Grad erreicht hat.

schiede gehobener Gewichte unverändert bleibt*), wenn der motorische Willensimpuls durch einen elektrischen Nervenreiz ersetzt wird, so erscheint die Behauptung, dass bei Vergleichung zweier gehobener Gewichte u. dergl. nicht sowohl eigentliche Muskelempfindungen als vielmehr unsere Willensimpulse maassgebend seien, als eine ganz unhaltbare.

Wie also ein äusserer Sinnesreiz zunächst eine centripetal verlaufende Erregung des Sinnesnerven zu Folge hat, die vermöge ihrer Fortpflanzung innerhalb des Centralorganes unter Umständen wiederum eine centrifugal sich verbreitende, motorische Erregung auslöst, so ruft unseres Erachtens auch die durch einen Willensimpuls gesetzte, centrifugal verlaufende, motorische Erregung vermöge ihrer Einwirkung auf den Muskel eine centripetal sich verbreitende sensorische Erregung hervor, welche uns von der Thätigkeit und dem Zustande des Muskels Kunde giebt, ausserdem aber vielleicht auch dazu dient, gewisse organische Thätigkeiten, insbesondere solche, welche die zur Herstellung der vollen Leistungsfähigkeit des Muskels erforderliche Abfuhr

*) Da bei Anwendung des Fingers zum Heben der Gewichte die Unterschiedsempfindlichkeit in beiden Fällen dieselbe war, so scheint es von gar keinem Belang zu sein, dass bei Benutzung des Fusses das Unterscheidungsvermögen im Falle der elektrischen Reizung etwas geringer erschien. Nach den Mittheilungen Bernhardt's dürfte letzterer Umstand seinen Grund darin haben, dass bei den Versuchen, wo der Fuss auf elektrischem Wege zu einer Dorsalflexion veranlasst wurde, der durch den Inductionsstrom bewirkte Hautreiz und das Beben der in Contraction versetzten Muskeln einen nicht unbeträchtlichen störenden Einfluss ausübte. — Bei Beurtheilung der Zuverlässigkeit der Versuche Bernhardt's ist insbesondere dies zu beachten, dass Bernhardt dieselben in Erwartung des entgegengesetzten Resultates, als sich wirklich ergab, und unter Anderem auch in eigener Person an sich selbst anstellte. Gegen die Vermuthung, dass es sich bei den Versuchen mit elektrischen Reizen um eine Vergleichung nicht sowohl der entstehenden Muskelempfindungen als vielmehr der durch die elektrischen Reize bewirkten Hautempfindungen gehandelt habe, sprechen erstens die Resultate, welche Bernhardt bei dem Versuche erhielt, die Haut gänzlich unempfindlich zu machen, zweitens die Thatsache, dass die Versuchsperson ihre Aufmerksamkeit nicht auf jene Hautempfindungen richtete, vielmehr sich durch dieselben gestört fühlte, und drittens der Umstand, dass die Unterschiedsempfindlichkeit des Hautsinnes allgemein geringer zu sein scheint als die des Muskelsinnes.

oder Unschädlichmachung gewisser Muskelzersetzungsstoffe bewirken, zu fördern und zu steigern. Diese sensorische Erregung sensibler Muskelnerven hängt nach der physiologischen Auffassung des Weber'schen Gesetzes von dem Spannungszustande der Muskelfasern in der Weise ab, dass sie annähernd wie der Logarithmus der Kraft, mit welcher der Muskel zu wirken strebt, zunimmt. In welcher Weise der Spannungszustand der Muskelfasern zu einem Reize für die sensiblen Muskelnerven wird*),

*) C. Sachs stellt, in Hinblick auf die Art des Verlaufes der Fasern und Fibrillen der sensiblen Muskelnerven, nach dem Vorgange von Du Bois-Reymond die Vermuthung auf, dass die Muskelcontraction die sensiblen Muskelnerven durch den Druck erregt, den sie auf dieselben ausübt. Hierzu bemerken wir Folgendes. Der Druck, den die Muskelcontraction auf die Endigungen der sensiblen Muskelnerven ausübt, muss fast ganz derselbe sein, wenn wir ein Gewicht von 1 Pfund und dann ein solches von 3 Pfund bis zu einer und derselben Höhe erheben; denn die Formänderung des Muskels und der von derselben abhängige Druck auf die im Muskel vorhandenen nervösen Theile ist nur von dem Umfange der Muskelbewegung, nicht aber auch von dem Spannungszustande des Muskels, d. h. der Kraft abhängig, mit welcher derselbe bei Gewichtsversuchen der Schwere des Gewichtes entgegenzuwirken oder bei Augenmaassversuchen den Widerstand des oder der antagonistischen Muskeln zu überwinden strebt. Es kann mithin die Wahrnehmung der Kraft unserer Muskelthätigkeit nicht dadurch bedingt sein, dass die in dem Muskel endigenden, sensiblen Nervenfasern durch die Contraction des Muskels gedrückt und gezerrt werden und gewisse den Intensitäten dieser mechanischen Einwirkungen entsprechende Empfindungen vermitteln. Wohl aber kann die Wahrnehmung des Umfanges unserer Muskelbewegungen mit dadurch bedingt sein, dass wir ausser den Wirkungen, welche die Muskelbewegung auf die den Muskel umgebenden Theile ausübt, auch den mit dem Umfange der Muskelbewegung anwachsenden Druck spüren, den die Muskelcontraction auf die Endigungen der sensiblen Muskelnerven ausübt. Ob das Weber'sche Gesetz auch für die Wahrnehmungen des Umfanges unserer Muskelbewegungen gilt, lässt sich gegenwärtig nicht entscheiden. Der Umstand, dass sich dasselbe bei den Augenmaassversuchen Volkmann's u. A. als annähernd gültig erwiesen hat, kann leicht darin begründet sein, dass die Elasticität derjenigen Augenmuskeln, welche bei einer Augenbewegung gedehnt werden müssen, dem Verkürzungsstreben der behufs Ausführung der Augenbewegung innervirten Muskeln einen Widerstand entgegensetzt, der innerhalb gewisser Grenzen dem jedesmaligen, von einer bestimmten Ausgangsstellung des Auges aus gerechneten Umfange der bereits voll-

diese und andere Fragen genügend zu beantworten, ist uns weder möglich, noch durch den Zweck dieser Schrift geboten. Die Aufgabe, die wir uns in diesem Capitel zu stellen hatten, war ja nur die, zu untersuchen, ob die mit der physiologischen Auffassung des Weber'schen Gesetzes unvereinbare Annahme, dass wir bei Vergleichung zweier gehobener Gewichte oder zweier bei bewegtem Blicke betrachteter Linien im Grunde nur die zur Ausführung dieser Muskelbewegungen erforderlichen Willensimpulse oder Innervationsgefühle mit einander vergleichen, die dem Stande unserer jetzigen Kenntnisse nach allein mögliche Annahme betreffs dieses Gegenstandes sei. Nachdem wir nun gesehen haben, dass dies entschieden zu verneinen ist und die Gültigkeit des Weber'schen Gesetzes im Gebiete des Muskelsinnes vielmehr darin ihren Grund zu haben scheint, dass dieses Gesetz für gewisse, durch sensible Muskelnerven vermittelte, eigentliche Muskelempfindungen annähernd gültig ist, haben wir die in diesem Capitel uns gestellte Aufgabe erfüllt. Dass der Reiz, welcher auf die sensiblen Muskelnerven ausgeübt wird, und dessen Verhältniss zur entstehenden sensorischen Erregung nach der physiologischen Auffassung des Weber'schen Gesetzes der Erregungsmaassformel entspricht, nicht ein äusserer, sondern ein innerer, und ein zwar sicher von der Kraft der Muskelthätigkeit abhängiger, aber in seinem Wesen uns näher nicht bekannter Reiz ist, thut unseren bisherigen Erörterungen nicht den geringsten Abbruch. Sind wir doch betreffs der Art und Weise, wie die Schwingungen der membrana basilaris die Endigungen des Hörnerven, die Druck- und Temperaturreize die Tastnervenfasern in Erregung zu setzen vermögen, gleichfalls nur auf sehr dürftige Vermuthungen angewiesen; und gemäss der physiologischen Auffassung des Weber'schen Gesetzes ist dazu, dass die Nervenerregung der Erregungsmaassformel gemäss von der Reizintensität abhängt, keineswegs erforderlich, dass der Reiz ein sogenannter äusserer Reiz sei. Es genügen also die bisherigen Erörterungen zu dem Nachweise, dass auf die Gültigkeit des Weber'schen Gesetzes im Gebiete des Muskelsinnes ein Ein-

zogenen Bewegung proportional ist, und es mithin auch einer dem jedesmaligen Umfange der Augenbewegung proportionalen Kraft der Muskelcontraction bedarf, um der antagonistisch wirkenden Zugkraft der gedehnten Muskeln das Gleichgewicht zu halten.

wand gegen die physiologische Auffassung dieses Gesetzes nicht gestützt werden kann. Mehr als dies ergibt sich allerdings aus den Auseinandersetzungen dieses Capitels nicht. Denn die psychophysische Auffassung wird zur Erklärung der Gültigkeit des Weber'schen Gesetzes in diesem Gebiete einfach geltend machen können, dass das psychophysische Gesetz selbstverständlich auch für das Verhältniss gelte, das zwischen der durch die Reizung sensibler Muskelnervenfasern hervorgerufenen psychophysischen Thätigkeit und der entsprechenden Muskelempfindung bestehe.

8. Capitel.

Die Proportionalität des Präcisionsmaasses und der absoluten Unterschiedsempfindlichkeit.

§ 112.

Dass man unter dem mit h bezeichneten Maasse der Präcision, mit welcher ein Sinnesreiz aufgefasst wird, eine Grösse zu verstehen hat, welche dem mittleren Werthe der zufälligen Beobachtungsfehler reciprok ist, die bei Auffassung des betreffenden Sinnesreizes begangen werden, haben wir auf Seite 21 und insbesondere in § 12 hinlänglich erörtert. Am letzteren Orte haben wir zugleich gesehen, wie wenig man berechtigt ist, gleich von vornherein vorauszusetzen, dass dieses Präcisionsmaass in einer bestimmten Beziehung zur Unterschiedsempfindlichkeit stehe. Dasselbe ist abhängig von dem Spielraume der zufälligen Fehler Vorgänge, welche den zufälligen Beobachtungsfehlern zu Grunde liegen; inwiefern es in näherer Beziehung zur Grösse des Unterschiedsschwellenwerthes stehen könne, scheint unerfindlich, da die Grösse und Häufigkeit der zufälligen Fehlervorgänge, die sich bei Auffassung eines gegebenen Sinnesreizes mit geltend machen, durch den zu diesem Sinnesreize zugehörigen Unterschiedsschwellenwerth nicht im mindesten beeinflusst zu werden scheint. Allein wir haben auf Seite 198 f. gesehen, dass thatsächlich doch nach Fechner's Gewichtsversuchen das Präcisionsmaass bei wachsendem Hauptgewichte und sonst unverändert bleibenden Versuchsumständen der absoluten Unterschiedsempfindlichkeit merklich

proportional geht. Ferner weisen auch, wie in §§ 29, 30, 34, 49 und 77 gesehen, gewisse Resultate, die sich bei den Untersuchungen Delboeuf's, den Augenmaassversuchen Volkmann's und den elektrischen Lichtversuchen Masson's herausgestellt haben, auf ein proportionales oder wenigstens analoges Verhalten jener beiden Grössen hin; und auch die Ergebnisse der Volkmann'schen Schallversuche, nach denen die relative Grösse des eben noch immer erkennbaren Schallunterschiedes eine constante ist, lassen sich nach § 19 nur unter Voraussetzung von Proportionalität zwischen Präcisionsmaass und absoluter Unterschiedsempfindlichkeit als eine Bestätigung des Weber'schen Gesetzes auffassen. Wenn also auch die Annahme der Proportionalität jener beiden Grössen durchaus keine von vornherein einleuchtende und selbstverständliche ist, so existirt diese Proportionalität thatsächlich doch, wenn unter sonst unverändert bleibenden Versuchsumständen die absolute Reizstärke variirt wird, und es muss unsere Aufgabe sein, im Folgenden eine befriedigende Erklärung dieses Verhaltens zu suchen.

Wir werfen zunächst die Frage auf, welcher Art die zufälligen Fehlervorgänge sein können, die sich bei Auffassung eines gegebenen Sinnesreizes mit geltend machen. Fechner geht auf diese wichtige Frage leider nicht ein; nur Ps. I, S. 76 f. äussert er sich folgendermaassen: „Bei allen 3 Methoden spielen unregelmässige Zufälligkeiten, welche theils den Manipulationen anhaften, theils in subjectiven Verhältnissen der Auffassung der verglichenen Grössen begründet liegen, eine grosse Rolle. . . Wenn bei den Versuchen die Manipulation sich irgendwie ändert, tritt auch sofort ein anderes Spiel der Zufälligkeiten ein und hören die Maasse auf vergleichbar zu sein; ebenso kann man wegen möglicher Abänderung innerer Verhältnisse bei verschiedenen Individuen nicht denselben Spielraum der Zufälligkeiten voraussetzen.“ Einer allgemeinen Erwägung bieten sich offenbar die mannigfaltigsten Vermuthungen betreffs der Art und Weise dar, in welcher die zufälligen Beobachtungsfehler begründet sein können. Man kann meinen, sie seien in Zufälligkeiten und Unregelmässigkeiten begründet, welche bei der Manipulation des Versuchsverfahrens stattfinden, hätten z. B. bei Gewichtsversuchen, wie solche Fechner anstellte, darin ihren Grund, dass das Gewicht trotz aller Vorsichtsmaassregeln das eine Mal etwas langsamer, das andere Mal etwas schneller erhoben wird, oder die Hebungs-

zeit des Gewichtes nicht immer genau dieselbe ist, oder dass das Gewicht nicht immer in ganz gleicher Weise ergriffen wird u. dergl. m. Man kann ferner glauben, die Fehlervorgänge seien zufällige und unregelmässige Schwankungen der absoluten Empfindlichkeit oder zufällige Vorgänge rein centraler Natur, unregelmässig fluktuirende Einwirkungen gleichzeitiger anderer Erregungen des Centralorganes auf die von dem gegebenen Sinnesreize hervorgerufene centrale Nervenregung, unregelmässige Einflüsse des Blutumlaufes u. dergl. m. Alle diese möglichen Fälle führen wir auf folgende 3 einfache Fälle zurück: entweder sind die zufälligen Fehlervorgänge solche Vorgänge, welche die Intensitäten der gegebenen Sinnesreize noch vor oder während ihrer Einwirkung auf das Sinnesorgan beeinflussen, etwa ebenso wie zufällige Aenderungen des Zustandes der Atmosphäre die Lichtstärke ferner Gesichtsobjecte zu einer unregelmässig schwankenden zu machen vermögen; oder sie sind Vorgänge, welche innerhalb unseres Organismus stattfinden und die Intensitäten der von den gegebenen Sinnesreizen hervorgerufenen Nervenregungen theils fördern, theils beeinträchtigen; oder endlich sie sind Vorgänge beiderlei Art zugleich. Ausgeschlossen bleibt gleich von vornherein, als mit jeder verständlichen und consequenten Auffassung der Wechselbeziehung von Leib und Seele unvereinbar, die Vermuthung, dass die zufälligen Fehlervorgänge rein psychischer Natur seien, d. h. dass die unregelmässigen Schwankungen, welche die einer gegebenen Reizstärke entsprechende Empfindungsintensität zeigt, einfach darin ihren Grund hätten, dass die Seele, wenn in den unmittelbar mit ihr in Wechselwirkung stehenden Nervenorganen ein Erregungszustand von bestimmter Intensität vorhanden sei, alsdann in unregelmässiger und zufälliger Weise das eine Mal diese, das andere Mal jene Empfindungsintensität in sich erzeuge.

Wir werden nun weiterhin zeigen, dass die thatsächlichen Verhältnisse die oben an zweiter Stelle angeführte Annahme zu fordern scheinen, dass also die zufälligen Fehlervorgänge in der Hauptsache als solche Vorgänge anzusehen sind, die im Inneren unseres Organismus stattfinden und sich ihren Wirkungen nach als bestimmte, positive oder negative, Zuwüchse zu den von den gegebenen Sinnesreizen hervorgerufenen Nervenregungen auffassen lassen und zwar, wie wir weiter vermuthen, als solche Zuwüchse, deren Grössen allgemein ganz unabhängig sind von

den Intensitäten derjenigen Nervenerrregungen, zu denen sie als Zuwächse hinzukommen. Lässt sich aber wirklich jeder zufällige Fehlervorgang als ein bestimmter, positiver oder negativer, Zuwachs ε zu der von dem gegebenen Sinnesreize hervorgerufenen Nervenerrregung E auffassen, so haben wir offenbar nach dem Früheren (vergl. § 2) unter dem zufälligen Beobachtungsfehler δ denjenigen Zuwachs zu der Reizstärke r zu verstehen, welcher, wenn der zufällige Fehlervorgang nicht existirte, erforderlich sein würde, um einen Zuwachs ε zu der Erregung E zu bewirken; und die Beziehung, welche zwischen ε und δ besteht, hängt von der Art des functionellen Verhältnisses ab, in welchem allgemein die Nervenerrregung E zur Reizstärke r steht. Denn in eben diesem functionellen Verhältnisse muss auch die um ε grössere, bez. kleinere, Erregung $E + \varepsilon$ zu der um den entsprechenden Reizzuwachs $+ \delta$ vergrösserten, bez. verkleinerten, Reizstärke $r + \delta$ stehen. Es ist also allgemein $E + \varepsilon$ gleich einer bestimmten Function von $r + \delta$. Denken wir uns nun diese Function der zweitheiligen Grösse $r + \delta$ in eine Reihe entwickelt, deren erstes Glied diejenige Function von r darstellt, welche gleich E ist und sich demgemäss mit dieser auf der anderen Seite der Gleichung stehenden Grösse E hebt, deren übrige Glieder aber nach Potenzen von δ fortschreiten, so können wir diejenigen Glieder, welche die zweite und die höheren Potenzen von δ als Coefficienten enthalten, wegen der Kleinheit von δ ganz vernachlässigen und erhalten demnach dem Taylor'schen Satze gemäss $\varepsilon = p\delta$, wo p den Differenzialquotienten derjenigen Function von r bezeichnet, welche allgemein die Erregung E als abhängig von dem Reize r darstellt. Besteht aber allgemein die Gleichung: $\varepsilon = p\delta$, so ist, wenn wir eine grosse Anzahl von Beobachtungen der gegebenen Reizstärke ausführen, auch der mittlere Werth ε_m der hierbei sich mit geltend machenden Grössen ε gleich dem Producte $p\delta_m$, wo δ_m der mittlere Werth der in den zahlreichen Beobachtungsfällen begangenen und von den Grössen ε abhängigen zufälligen Beobachtungsfehler bedeutet.

Es ist also kurz $\varepsilon_m = p\delta_m$ oder $\delta_m = \frac{\varepsilon_m}{p}$, wo ε_m bei unverändert bleibendem Versuchsverfahren constant ist, da wir nach Obigem den mittleren Werth der Grössen ε als unabhängig von der gegebenen Reizstärke und der durch diese bewirkten Nervenerrregung zu betrachten haben. Nehmen wir nun mit der physiologischen

Auffassung des Weber'schen Gesetzes an, dass die Erregungsmaassformel, nach welcher $E = k' \log \varphi(r)$ ist, Gültigkeit besitze, so ist der Differenzialquotient p gleich $\frac{k' \varphi'(r)}{\varphi(r)}$ zu setzen, mithin

$\delta_m = \frac{\varepsilon_m \varphi(r)}{k' \varphi'(r)}$ oder, da $\frac{\varepsilon_m}{k'}$ gleich einer Constanten c gesetzt werden

kann, $\delta_m = \frac{c \varphi(r)}{\varphi'(r)}$ und $\frac{\varphi(r)}{\varphi'(r)} = \frac{\delta_m}{c}$. Bezeichnen wir ferner den

eben merkbaren Reizzuwuchs mit S , so ist nach S. 251 $\frac{\varphi'(r) S}{\varphi(r)} = \omega$,

wo ω eine Constante bedeutet, mithin $S = \frac{\omega \varphi(r)}{\varphi'(r)} = \frac{\omega \delta_m}{c}$, also

kurz der Unterschiedsschwellenwerth proportional zu dem mittleren Werthe der zufälligen Beobachtungsfehler; woraus sich ergibt, dass auch die absolute Unterschiedsempfindlichkeit dem gleich

$\frac{1}{\delta_m \sqrt{\pi}}$ zu setzenden Präcisionsmaasse proportional geht. Wir

gelangen also vom Standpunkte der physiologischen Deutung des Weber'schen Gesetzes aus zu einer sehr einfachen Erklärung der thatsächlichen Proportionalität des Präcisionsmaasses und der absoluten Unterschiedsempfindlichkeit, wenn wir annehmen, dass der bei Auffassung einer gegebenen Reizstärke sich mit geltend machende zufällige Fehlervorgang im Allgemeinen ein Vorgang sei, welcher im Inneren unseres Organismus stattfindet und sich als ein von der Intensität des gegebenen Sinnesreizes und der eintretenden Nervenirregung ganz unabhängiger, positiver oder negativer, Zuwuchs zu der eintretenden Nervenirregung fassen lässt. Und andererseits lässt sich sagen, dass, sobald letztere Annahme bewiesen ist, die thatsächliche Proportionalität des Präcisionsmaasses und der absoluten Unterschiedsempfindlichkeit die Richtigkeit der physiologischen Deutung des Weber'schen Gesetzes ganz ausser Zweifel stellt. Denn nach jener Annahme

ist in der Gleichung: $p = \frac{\varepsilon_m}{\delta_m}$, die Grösse ε_m unabhängig von

der Reizintensität r und bei unverändert bleibender Modalität des Versuchsverfahrens constant. Da nun der Erfahrung gemäss δ_m

proportional zum Unterschiedsschwellenwerthe und dieser $= \frac{\omega \varphi(r)}{\varphi'(r)}$

ist, so muss, wenn jene Annahme richtig ist, p nothwendig gleich

$\frac{k' \varphi'(r)}{\varphi(r)}$ gesetzt werden, wo k' eine Constante bedeutet, und mithin, da $\frac{k' \varphi'(r)}{\varphi(r)}$ der Differenzialquotient der Function $k' \log \varphi(r)$ ist, E allgemein $= k' \log \varphi(r)$ gesetzt werden.

§ 113.

Gehen wir nun näher auf die Frage ein, inwieweit wirklich die vorliegenden Erfahrungsthatfachen uns auf die obige, der physiologischen Deutung des Weber'schen Gesetzes günstige Annahme betrifft der Art der zufälligen Fehlervorgänge hinweisen. Es ist eine schon seit geraumer Zeit bekannte und als auffallend befundene Thatsache, dass das leise Ticken einer Taschenuhr, welche sich in einiger Entfernung vom Ohre befindet, keineswegs mit gleichmässiger Stärke vernommen wird, sondern zeitweise sich eine Zu- oder Abnahme der Schallempfindung bemerklich macht. Wird die Uhr in einer solchen Entfernung vom Ohre gehalten, dass das Ticken nur noch sehr schwach hörbar ist, so werden nicht bloss zeitweilige Schwächungen der Schallempfindung wahrgenommen, sondern die Schläge der Uhr fallen unserer Empfindung nach zuweilen gänzlich aus. Hierbei kann der Uebergang von der vollen Intensität der Schallempfindung bis zur gänzlichen Auslöschung derselben ein allmählicher oder auch ein ganz plötzlicher sein. Man könnte zunächst vermuthen, dass diese unregelmässigen Schwankungen der Schallempfindung in der Beschaffenheit der Schallquelle ihren Grund hätten. Allein man kann ganz dasselbe beobachten, wenn man sich statt einer Uhr anderer Schall erzeugender Mittel bedient und die Möglichkeit wesentlicher Schwankungen des äusseren Reizprocesses durch die Art der Schallerzeugung ausschliesst. So wird auch der schwache Schall eines fallenden Wasserstrahls, der mittels eines Schlauches weitergeleitete Ton eines Resonators, welcher durch eine in einen elektrischen Strom eingeschaltete Stimmgabel schwach erregt wird, selbst bei unveränderter Richtung der Aufmerksamkeit nicht andauernd, sondern nur mit mehr oder weniger unregelmässigen Unterbrechungen gehört. Da es sich nun ferner bei einer neuerdings*) unternommenen, näheren Untersuchung dieses Phänomens

*) V. Urbantschitsch, Ueber eine Eigenthümlichkeit der Schall-

als gleichgiltig herausgestellt hat, ob die Beobachtungen von Individuen mit intactem oder perforirtem Trommelfelle, mit unversehrter Gehörknöchelchenkette oder freiliegendem Steigbügel angestellt werden, mithin jene Unterbrechungen der Schallempfindungen von einer Mitwirkung der beiden Muskeln der Paukenhöhle kaum abhängen können, da dieselben endlich in ganz derselben Weise eintraten, wenn der Schallreiz nur durch die Kopfknochen zu den Endigungen des Hörnerven geleitet wurde, so scheint man mit Recht geschlossen zu haben, dass jene Intermissionen der Schallempfindung in der Hauptsache nicht in einer Eigenthümlichkeit des Schall erzeugenden Körpers oder des Schall leitenden Sinnesapparates, sondern vielmehr darin ihren Grund haben, dass die niederen und höheren Nervenorgane, auf welche die uns treffenden Schallreize übergehen, gewissen mehr oder weniger ungleichmässigen Einflüssen unterliegen, in Folge deren die von einem beständigen Schallreize geringer Intensität hervorgerufene Erregung dieser Nervenorgane zuweilen gänzlich aufhört. Diesen im Gebiete des Hörsinnes gemachten Beobachtungen entspricht die gleichfalls bekannte, von verschiedenen Forschern besonders hervorgehobene Thatsache, dass das positive Nachbild, welches ein Gesichtseindruck hinterlässt, nicht in regelmässigem Ablaufe bis zum gänzlichen Verschwinden sich allmählich verdunkelt, sondern oft in unregelmässiger Weise momentan ganz verschwindet oder gar in ein negatives Nachbild umschlägt, um kurz darauf wieder als positives Nachbild aufzutauchen. Auch hier kann an eine Mitwirkung äusserer zufälliger Einflüsse, welche die Intensität des Sinnesreizes zu einer unregelmässig schwankenden machen, nicht gedacht werden, da ja eben die Nachbilder die noch nach Aufhören des äusseren Reizes zurückbleibenden Wirkungen desselben in den nervösen Organen repräsentiren; höchstens mag neben Blinzeln und Augenbewegungen hie und da auch eine Aenderung der äusseren Beleuchtung mit von Einfluss auf das wechselnde Sichverdunkeln und Wiedererhellenden, Schwinden und Wiederauftauchen der Nachbilder sein*).

empfindungen geringster Intensität, in dem Centralblatt für die medicinischen Wissenschaften von 1875, No. 37.

*) Hering (Zur Lehre vom Lichtsinne, 3. Mittheilung, S. 238) betrachtet das abwechselnde Verschwinden und Wiederauftauchen der Nachbilder als ein gesetzmässiges und periodisches, giebt aber zu, dass die

Vor Allem deuten auch die unregelmässigen Schwankungen der Helligkeit, welche wir bei ganz constant gehaltenen äusseren Beleuchtungsverhältnissen an dem sogenannten Eigenlichte der Netzhaut beobachten, auf zufällige innere Vorgänge hin, welche die Erregungen unserer Sinnesnerven und der mit denselben verbundenen centralen Theile beeinflussen. In sehr hohem, krankhaftem Maasse scheinen sich jene unregelmässigen inneren Vorgänge nach den Untersuchungen von Remak (Arch. f. Psychiatrie, VII, S. 505 ff.) in Fällen von *Tabes dorsalis* steigern zu können. Derselbe bemerkt unter Anderem Folgendes: „Gewisse Angaben der *Tabes*-Kranken weisen darauf hin, dass nicht sowohl die absolute Sensibilitätsstörung der Sohle bei ihrer Unsicherheit namentlich bei geschlossenem Auge in Betracht kommt als gerade die Ungleichmässigkeit der Empfindung. Man hört von den Kranken sehr häufig die Angabe, es wäre ihnen, als wenn sie auf Filz, auf weiche Decken oder auf Gummi träten, als wenn der Boden nachgäbe, unter ihnen schwankte, federte oder elastisch wäre“. Aehnliche abnorme Schwankungen der Empfindungsintensität, welche gleichfalls lediglich durch innere Vorgänge bewirkt werden, bringt der Zustand der Schläfrigkeit mit sich. „Dem Schläfrigen,“ bemerkt Lotze (Med. Ps., S. 510), „scheint die Umgebung bald eindunkelnd, bald zu plötzlicher Helligkeit aufflackend; die Rede der Umstehenden kommt ihm bald wie aus unbestimmter Ferne zu, bald schreckt sie ihn aufdröhnend wie aus unmittelbarer Nähe empor“. Ist uns nun einerseits die Thatsache gegeben, dass von zwei verschiedenen Reizstärken in unregelmässiger Weise uns das eine Mal diese, das andere Mal jene und ein drittes Mal keine von beiden grösser erscheint als die andere, und andererseits constatirt, dass in Folge zufälliger und unregelmässiger Einflüsse, denen die Erregungen der sensorischen Nervenorgane unterliegen, die wenig intensiven Empfindungen gewisser Sinnesgebiete zeitweilig selbst bis zum Verschwinden geschwächt werden, so liegt doch nichts näher, als die Annahme, dass jene zufälligen Schwankungen der Empfindungsintensitäten, welche unsere Vergleichung zweier gegebenen verschiedener Sinneseindrücke so sehr beeinträchtigen, in der Hauptsache in denselben inneren Vorgängen ihren Grund haben wie jene leicht bemerkbaren Inter-

Periodicität dieses Phänomens durch zufällige und unregelmässige Vorgänge gestört werde.

missionen schwacher Sinnesempfindungen. Diese Annahme scheint um so mehr gerechtfertigt, wenn wir in Betracht ziehen, dass die Genauigkeit des psychophysischen Maassverfahrens nothwendig dahin geht, die Intensitäten der zu vergleichenden äusseren Sinnesreize von allen unmessbaren, zufälligen Schwankungen frei zu erhalten. Es ist kaum die Möglichkeit dessen abzusehen, wie die unter zahlreichen Vorsichtsmaassregeln erzeugten und zur Einwirkung auf unser Sinnesorgan gebrachten äusseren Reizstärken derartige zufällige Schwankungen erleiden könnten, dass in Folge solcher äusserer Fehlervorgänge diejenige von zwei nicht ganz unbeträchtlich verschiedenen Reizintensitäten, welche wir den angestellten Messungen nach für die geringere erklären, zuweilen doch die thatsächlich grössere sei.

Nach dem Vorstehenden dürfte im Allgemeinen wenig Widerspruch gegen die Annahme zu erwarten sein, dass die zufälligen Fehlervorgänge, deren Einflüssen unsere Auffassung gegebener Sinnesreize unterliegt, im Inneren unseres Organismus stattfindende, die Intensitäten der vorhandenen sensorischen Nervenerregungen beeinflussende Vorgänge sind, z. B. zufällige Schwankungen der Erregbarkeit, unregelmässige Einflüsse des Blutumlaufs*), unberechenbare Einwirkungen der in den verschiedenen Theilen des Centralorganes vorhandenen Erregungszustände auf einander u. dergl. m. Indessen wenn man sich auch mit dieser Annahme einverstanden erklärt, so folgt doch daraus noch nicht nothwendig, dass, wie oben vorausgesetzt, der Erregungszuwuchs $\pm \epsilon$, als welchen man den bei Auffassung eines gegebenen Sinnesreizes sich mit geltend machenden Fehlervorgang seinen Wirkungen nach fassen kann, von der Intensität des gegebenen Sinnesreizes und der von demselben hervorgerufenen Nervenerregung ganz unabhängig sei und demgemäss auch der mittlere Werth ϵ_m der Grössen ϵ , die in einer grossen Anzahl von Beobachtungen eines gegebenen Sinnesreizes zu der von diesem bewirkten Nervenerregung hinzukommen, ganz unabhängig von der Intensität dieses

*) Zu bemerken ist jedoch, dass nach den Untersuchungen von Urbantschitsch die Respirationsbewegungen und die Pulsation nicht den mindesten Einfluss auf die oben besprochenen Intermissionen schwacher Gehörsempfindungen ausüben. Hingegen wird das Eigenlicht der Netzhaut, wie Helmholtz (Ph. O. S. 364) bemerkt, durch die Athembewegungen beeinflusst.

Sinnesreizes und dieser Nervenenerregung sei. Ebenso wie die physiologische Auffassung des Weber'schen Gesetzes diese Unabhängigkeit des Werthes ϵ_m voraussetzt, um jene merkwürdige Proportionalität des Unterschiedsschwellenwerthes und des mittleren Werthes der zufälligen Beobachtungsfehler in einfacher Weise zu erklären, könnte man vom Standpunkte der psychophysischen Auffassung aus geneigt sein, vorauszusetzen, dass jener Mittelwerth ϵ_m von der durch den vorhandenen Sinnesreiz hervorgerufenen Nervenenerregung abhängig sei und zwar der Intensität derselben genau proportional gehe. Nach dieser Annahme würde in der Gleichung: $\delta_m = \frac{\epsilon_m}{p}$ (vergl. S. 337) die Grösse ϵ_m gleich λE zu setzen sein, wo λ eine Constante bedeutet. Da nun nach der psychophysischen Auffassung $E = \varphi(r)$ und $p = \varphi'(r)$ ist, so würde diese Auffassung mit Hülfe vorstehender Annahme*) zu dem Resultate gelangen, dass $\delta_m = \frac{\lambda \varphi(r)}{\varphi'(r)}$, d. i. proportional zum Unterschiedsschwellenwerthe ist, der nach dem Früheren gleichfalls dem Quotienten $\frac{\varphi(r)}{\varphi'(r)}$ proportional geht. Allein da die zufälligen Fehlervorgänge nicht erst in der von aussen hervorgerufenen Nervenenerregung, sondern in anderen, inneren Verhältnissen ihren Grund haben, so ist schwer einzusehen, wie die den zufälligen Fehlervorgängen entsprechenden positiven und negativen Erregungszuwüchse ϵ von der Intensität der eintretenden Nervenenerregung abhängig und zwar derselben proportional sein könnten. Allerdings könnte man sich denken, dass jene Erregungszuwüchse ϵ in der Weise von der vorhandenen Nervenenerregung abhängig seien, dass sie um so geringer würden, je intensiver die durch den Sinnesreiz bewirkte Nervenenerregung sei, indem die Widerstände, die sich einer weiteren Steigerung der Nervenenerregung durch den zufälligen Fehlervorgang entgegenstellen, um so beträchtlicher würden, je grösser die Intensität der vorhandenen Erregung bereits sei. Aber höchst unwahrschein-

*) Mit Hülfe obiger Annahme würde die psychophysische Auffassung die Proportionalität des Präcisionsmaasses und der absoluten Unterschiedsempfindlichkeit auch dann erklären können, wenn sie annähme (vergl. S. 254), dass $E = \varphi(r)^p$ sei, wo die Constante p im Allgemeinen $>$ oder < 1 ist.

lich bleibt der entgegengesetzte Fall, dass der von einem zufälligen Fehlervorgange bewirkte Erregungszuwuchs mit der Intensität der eintretenden Nervenregung zunehme und sogar derselben proportional gehe. Wir finden ferner, dass durch jene Fehlervorgänge deutliche Unterbrechungen sehr schwacher Gehörsempfindungen bewirkt werden. Warum bewirken nun jene Fehlervorgänge nicht auch gänzliche Intermissionen starker Gehörsempfindungen? Offenbar kommen jene Unterbrechungen sehr schwacher Sinnesempfindungen dadurch zu Stande, dass der dem vorhandenen Fehlervorgange entsprechende negative Erregungszuwuchs — ϵ seinem absoluten Werthe nach grösser oder mindestens gleich gross ist als die durch den Sinnesreiz bewirkte Nervenregung und in Folge dessen dieselbe ganz auslöscht. Wären nun die zufälligen Fehlervorgänge von den eintretenden Nervenregungen abhängig und zwar die Grössen ϵ den letzteren proportional, so müssten offenbar auch die starken Nervenregungen durch die zufälligen Fehlervorgänge zuweilen ganz ausgelöscht werden können. Dies ist aber durchaus nicht der Fall, und zwar eben deswegen nicht, weil die Grössen ϵ im Allgemeinen von den Nervenregungen unabhängig sind, mithin in Vergleich zu der vorhandenen Erregungsintensität um so geringer sind, je grösser diese ist, und demgemäss nur sehr schwache Nervenregungen ganz auszulöschen vermögen.

§ 114.

Unseres Erachtens liegt also die Sache kurz folgendermaassen. Die Proportionalität der absoluten Unterschiedsempfindlichkeit und des Präcisionsmaasses, welche besteht, wenn unter sonst unverändert bleibenden Versuchsumständen die absolute Reizstärke variirt wird, lässt sich nicht erklären, wenn man annimmt, dass die zufälligen Fehlervorgänge im Wesentlichen Vorgänge seien, welche die äusseren Reizprocesse selbst und nicht erst die von ihnen hervorgerufenen Nervenprocesse beeinflussen. Bei dieser Annahme würde man eben nur behaupten, dass der mittlere Werth der zufälligen Beobachtungsfehler, d. i. der mittlere Werth derjenigen Grössen, um welche die Intensität eines äusseren Reizprocesses in zahlreichen Beobachtungsfällen durch die zufälligen Fehlervorgänge erhöht oder vermindert werde, dem Unterschiedsschwellenwerthe proportional gehe, aber nicht angeben können, wie es nun komme, dass jener Mittelwerth sich merk-

würdiger Weise in verschiedenen Sinnesgebieten bei wechselnder Reizstärke in ganz demselben Verhältnisse ändere wie der Unterschiedsschwellenwerth. Hingegen lässt sich jenes proportionale Verhalten des Präcisionsmaasses und der absoluten Unterschiedsempfindlichkeit erklären, wenn man betreffs der Art der zufälligen Fehlervorgänge diejenige Annahme theilt, auf welche uns gewisse Thatsachen hinweisen, nämlich die Annahme, dass dieselben solche Vorgänge seien, welche im Inneren unseres Organismus stattfinden und die Intensitäten der von aussen hervorgerufenen Nervenenerregungen beeinflussen. Und zwar muss zur Erklärung jenes proportionalen Verhaltens die psychophysische Auffassung des Weber'schen Gesetzes voraussetzen, dass die Erregungszuwüchse, als welche sich nach vorstehender Annahme die zufälligen Fehlervorgänge fassen lassen, der vorhandenen Nervenenerregung proportional gingen; hingegen muss die physiologische Auffassung annehmen, dass jene Erregungszuwüchse von der Intensität der vorhandenen Nervenenerregung ganz unabhängig seien. Da nun die erstere dieser beiden Annahmen betreffs der Art der zufälligen Fehlervorgänge an und für sich sehr wenig Wahrscheinlichkeit besitzt und die zweite, plausibelere Annahme noch ausserdem durch die zur Zeit vorliegenden Thatsachen empfohlen wird, so ist offenbar das thatsächliche Bestehen der Proportionalität des Präcisionsmaasses und der absoluten Unterschiedsempfindlichkeit als eine gewisse Bestätigung der physiologischen Deutung des Weber'schen Gesetzes aufzufassen. Hierzu kommt noch das Folgende. Es ist eine merkwürdige Thatsache, dass der Unterschiedsschwellenwerth, anstatt constant zu bleiben, bei wachsender Reizstärke vielmehr einen solchen Gang nimmt, dass er innerhalb gewisser mittlerer Grenzen einen annähernd constanten Bruchtheil der vorhandenen Reizintensität bildet. Ein zweites auffallendes Resultat ist es, dass der mittlere Werth der zufälligen Beobachtungsfehler, welche bei Auffassung eines gegebenen Sinnesreizes begangen werden, anstatt, wie man von vorn herein erwarten sollte, bei vergleichbar gehaltener Modalität des Versuchsverfahrens constant zu bleiben, bei Variation der absoluten Reizstärke ganz dasselbe Verhalten zeigt wie der Unterschiedsschwellenwerth. Zweifelsohne wird nun diejenige der beiden obigen Auffassungen des Weber'schen Gesetzes vor der anderen den Vorzug verdienen, nach welcher ganz dieselben Verhältnisse, die jenen merkwürdigen Gang des Unterschiedsschwellenwerthes

bedingen, auch das ganz entsprechende, auffallende Verhalten des mittleren Werthes der zufälligen Beobachtungsfehler begründen. Nach der psychophysischen Auffassung hat nun jenes merkwürdige Verhalten der Unterschiedsempfindlichkeit seinen Grund im Wesentlichen darin, dass die Empfindungsstärke der Intensität der psychophysischen Thätigkeit nicht proportional geht, sondern wunderbarer Weise wie der Logarithmus der letzteren zunimmt; hingegen ist jene auffallende Abhängigkeit des Präcisionsmaasses von der absoluten Reizstärke nach dieser Auffassung in der Hauptsache darin*) begründet, dass die im Inneren unseres Organismus stattfindenden zufälligen Fehlervorgänge sich allgemein als solche Zuwüchse zu der durch den äusseren Reiz hervorgerufenen Nerven-erregung fassen lassen, welche nicht etwa, wie man bei unverändert gehaltenem Versuchsverfahren erwarten sollte, von der Intensität der jedesmaligen Nerven-erregung ganz unabhängig sind, sondern vielmehr derselben proportional gehen. Ein näherer Zusammenhang zwischen dem Verhalten der Unterschiedsempfindlichkeit und dem des Präcisionsmaasses besteht also nach der psychophysischen Auffassung des Weber'schen Gesetzes nicht. Ganz anders verhält es sich nach der physiologischen Auffassung. Nach dieser befolgt die Abhängigkeit der Empfindungsintensität von der psychophysischen Thätigkeit das einfachste und natürlichste Gesetz, nämlich das Gesetz der Proportionalität, und ist auch, wie man bei vergleichbar gehaltener Modalität des Versuchsverfahrens von vorn herein zu erwarten hat, die Wirkung der im Nervensysteme vor sich gehenden zufälligen Fehlervorgänge ganz unabhängig von der Intensität der Nerven-erregung, welche von dem aufzufassenden Sinnesreize hervorgerufen wird; und jenes eigenthümliche Verhalten der absoluten Unterschiedsempfindlichkeit und der ganz analoge, auffallende Gang des Präcisionsmaasses haben beide gemeinsam ihren Grund darin, dass für die Abhängigkeit der Nerven-erregung von der Reizstärke die Erregungsmaassformel gilt. Die physiologische Auffassung des Weber'schen Gesetzes ist daher nicht bloss eine solche Auffassung,

*) Wollte man die von der psychophysischen Auffassung gemachte Voraussetzung, dass die Nerven-erregung der Intensität des Sinnesreizes annähernd proportional gehe, mit der Annahme verbinden, dass der Mittelwerth ε_m von der eintretenden Nerven-erregung unabhängig sei, so würde man zu dem Resultate kommen, dass das Präcisionsmaass innerhalb gewisser Grenzen von der absoluten Reizstärke unabhängig sei.

welche durch die Anführung der sogenannten Thatsache der Reizschwelle, des Parallelgesetzes u. dergl. nicht widerlegt wird und mit gleichem Rechte wie die psychophysische Auffassung geltend gemacht werden kann, sondern auch diejenige Auffassung, welche allein eine befriedigende Erklärung der Proportionalität der absoluten Unterschiedsempfindlichkeit und des Präcisionsmaasses bietet. Streng bewiesen wird die physiologische Deutung des Weber'schen Gesetzes durch die vorstehenden Erörterungen allerdings nicht; aber der Ansicht gegenüber, die da vermeint, in dem psychophysischen Gesetze Fechner's ein dem Gravitationsgesetze ebenbürtiges Gesetz zu besitzen, dürfte es ein nicht unwichtiges Resultat sein, dass sich die physiologische Auffassung nicht bloss als eine gleich haltbare, sondern sogar als die plausibelere Auffassung des Weber'schen Gesetzes ergibt und zwar gerade dann ergibt, wenn man die insbesondere durch Fechner's sorgfältige Gewichtsversuche constatirte, aber von Fechner selbst auffallender Weise als etwas Selbstverständliches vorausgesetzte Proportionalität des Präcisionsmaasses und der absoluten Unterschiedsempfindlichkeit zu erklären versucht.

Auf einen Punkt noch müssen wir hier kurz eingehen, nämlich darauf, dass die Proportionalität des Präcisionsmaasses und der absoluten Unterschiedsempfindlichkeit nicht allgemein, sondern nur dann zu bestehen scheint, wenn unter sonst gleich bleibenden Versuchsumständen die absolute Reizstärke variirt wird. So haben wir auf S. 199 gesehen, dass nach Fechner's Gewichtsversuchen die Unterschiedsempfindlichkeit für beide Hände Fechner's merklich gleich ist, hingegen das Präcisionsmaass für die rechte Hand ganz unverkennbar einen grösseren Werth besitzt als für die linke. Thatsachen dieser Art lassen sich vom Standpunkte der physiologischen Auffassung aus leicht erklären. Wie auf S. 338 ge-

sehen, ist nach dieser Auffassung $\delta_m = \frac{\epsilon_m \varphi(r)}{k' \varphi'(r)}$. Dieser Gleich-

ung gemäss muss der mittlere Werth der zufälligen Beobachtungsfehler dem Unterschiedsschwellenwerthe, welcher nach dem

Früheren $= \frac{\omega \varphi(r)}{\varphi'(r)}$ ist, bei gleich bleibender Reizqualität und

unverändert gehaltenem Versuchsverfahren so lange proportional gehen, als die Grösse ϵ_m , welche von dem Spielraume der zufälligen Fehlervorgänge abhängig ist, constant bleibt. Sobald

sich jedoch der Spielraum der zufälligen Fehlervorgänge und mithin auch die Grösse ϵ_m ändert, dann kann jener mittlere Beobachtungsfehler ein anderer werden, ohne dass sich der Unterschiedsschwellenwerth in gleichem Verhältnisse ändert, ja selbst ohne dass sich derselbe überhaupt ändert. Wenn daher, wie dies bei Fechner der Fall zu sein scheint, das Maass der Präcision, mit welcher eine mit der rechten Hand erhobene Gewichtsgrösse aufgefasst wird, grösser ist als das Präcisionsmaass der linken Hand, ohne dass die Unterschiedsempfindlichkeit für beide Hände eine andere ist, so erklärt sich dies leicht durch die Annahme, dass der Spielraum der zufälligen Fehlervorgänge, die sich bei Auffassung eines mit der rechten Hand erhobenen Gewichtes geltend machen, geringer sei als der Spielraum der zufälligen Fehlervorgänge, deren Einflüssen die Auffassung eines mit der linken Hand erhobenen Gewichtes unterliegt. Wenn auch der Spielraum der zufälligen Fehlervorgänge bei gleich bleibendem Versuchsverfahren von der Grösse des erhobenen Gewichtes unabhängig ist, so braucht er doch nicht derselbe zu sein, wenn ein Gewicht mit der linken und wenn es mit der häufiger benutzten und geübteren rechten Hand erhoben wird.

9. Capitel.

Die psychophysische Deutung der sogenannten Thatsache der Reizschwelle und des Weber'schen Gesetzes in psychologischer und metaphysischer Hinsicht.

§ 115.

Wie in §§ 88 ff. gesehen, macht Fechner zur Rechtfertigung seiner Ansicht auch dies geltend, dass die Thatsache der Reizschwelle nothwendig eine psychophysische Deutung erheische und mithin, da nur sein psychophysisches Grundgesetz, nicht aber die Voraussetzung der Proportionalität von Empfindung und psychophysischer Thätigkeit mit einer Uebertragung der Reizschwelle auf die Wechselwirkung zwischen Physischem und Psychischem vereinbar sei, auch die psychophysische Auffassung des Weber'schen Gesetzes die allein zulässige Auffassung dieses Gesetzes sei. Und zwar sucht Fechner, wie bereits auf S. 246 bemerkt, die Behauptung, dass die Reizschwelle und mithin auch

das Weber'sche Gesetz nothwendig rein psychophysisch gedeutet werden müsse, ausser durch die im zweiten Capitel dieses Abschnittes erwähnten und hinlänglich widerlegten Beweisgründe auch noch dadurch zu stützen, dass er einige Thatsachen der sinnlichen Aufmerksamkeit anführt, welche ihm darzuthun scheinen, dass die psychophysische Thätigkeit in gewisser Stärke vorhanden sein kann, ohne doch eine entsprechende bewusste Empfindung mit sich zu führen; ja Fechner behauptet sogar allgemein (Ps. II., S. 435), es werde sich zeigen lassen, wie die Verhältnisse zwischen bewusstem und unbewusstem Vorstellungsleben, Schlaf und Wachen, allgemeinen und besonderen Bewusstseinsphänomenen, kurz die allgemeinsten Verhältnisse des Seelenlebens eine sehr einfache und befriedigende psychophysische Repräsentation auf Grund der Voraussetzung, dass der Schwellenbegriff auf die psychophysische Bewegung übertragbar sei, zuliessen, welche nicht möglich sei, wenn man der gegentheiligen Annahme huldige, und hält es demgemäss „nicht für eine unsichere Hypothese, sondern für eine Forderung der ganzen thatsächlichen Sachlage, auf welcher wir zu fussen haben, dass vielmehr die Empfindung von der psychophysischen Thätigkeit, als diese vom Reize im Sinne der Fundamentalformel und Maassformel abhängt“. Indem wir ganz davon absehen, dass, wie in § 88 gesehen, die Reizschwelle noch nicht einmal sicher constatirt ist, versuchen wir nun im Folgenden die Triftigkeit der vorstehenden Behauptungen Fechner's etwas näher zu prüfen.

Wie bemerkt, führt Fechner (Ps. II., S. 432 ff.) gewisse Thatsachen der sinnlichen Aufmerksamkeit an, um darzuthun, dass psychophysische Thätigkeit in gewisser Stärke vorhanden sein könne, ohne eine bewusste Empfindung mit sich zu führen. Er erinnert daran, dass man zuweilen Theile eines Gegenstandes im Nachbilde wahrnehmen könne, welche beim Betrachten mit offenen Augen gar nicht zum Bewusstsein gekommen seien, und dass unter Umständen sogar ein früher geschehener Eindruck erst später zum Bewusstsein kommen könne als ein später geschehener Eindruck, wenn die Aufmerksamkeit zuerst mehr auf den späteren als den früheren Eindruck gerichtet sei; ferner führt er zum Beweis für seine Ansicht auch Folgendes an: „Es spricht beispielsweise Jemand mit uns; wir sind aber zerstreut und hören nicht (nicht bewusst), was er gesagt hat. Den Augenblick darauf aber sammeln wir uns, und das, was er gesagt hat, tritt in unser Bewusstsein.

Unstreitig mussten also die Bewegungen, an die sich das Hören knüpft, schon vorher entstanden sein, und die Sammlung der Aufmerksamkeit hatte nur den Erfolg, sie über die Schwelle zu heben“. Fechner betrachtet, wie auch aus dem soeben Angeführten folgt, jede in irgend welchem Nervenorgane entstandene Erregung als psychophysische Thätigkeit, die, falls ihre Intensität den Erregungsschwellenwerth übersteigt, nothwendig eine bewusste Empfindung in uns hervorruft, falls sie aber den Schwellenwerth nicht erreicht, nur als physische Grundlage einer unbewussten Empfindung, welche auch nach Fechner in Wahrheit keine Empfindung ist, aufgefasst werden darf (vergl. Ps. II, S. 439). Demgemäss nimmt Fechner an, dass von einem (mehr oder weniger ausgedehnten und verzweigten) Sensorium, in welches jede Nervenerrregung hoher oder geringer Intensität fortgepflanzt werden müsse, um überhaupt eine Empfindung in uns hervorrufen zu können, gar nicht die Rede sein könne, und betrachtet als engeren Seelensitz einfach „den Leibestheil, worin die psychophysischen Thätigkeiten die Schwelle zu übersteigen vermögen“ (vergl. Ps. II, S. 391 und 427). Kann in einem Darmganglion die Nervenerrregung, welche zur Unterhaltung und Regelung der peristaltischen Darmbewegungen dient, jemals den Erregungsschwellenwerth übersteigen, so ist dieses Ganglion gleichfalls mit zum engeren Sitze der Seele zu rechnen, ebenso wie etwa ein beliebiger Theil der Brücke oder der Grosshirnrinde. Bemerkt man, dass es doch eigentlich nicht so scheine, als kämen uns die fortwährenden Erregungen jener Nervenorgane, welche unsere Herzbewegungen, Athembewegungen u. dergl. m., kurz unsere gesammte vegetative Thätigkeit unterhalten und reguliren, immer zum Bewusstsein, so wird Fechner einwerfen, dass sich hieraus darauf schliessen lasse, dass sich jene Erregungen meist sämmtlich unter der Schwelle befinden. Kurz die Fechner'sche Ansicht vom Sitze der Seele ist nur haltbar, wenn das psychophysische Gesetz Fechner's haltbar ist; denn nur unter Voraussetzung dieses Gesetzes scheint jene Ansicht die (nach Obigem von Fechner selbst nicht in Abrede gestellten) Fälle erklären zu können, in denen irgendwo in unserem Nervensysteme Erregung vorhanden ist, ohne uns in einem psychischen Zustande zum Bewusstsein zu kommen. Andererseits stützt sich die Behauptung, dass obige Thatsachen der sinnlichen Aufmerksamkeit und andere ähnliche Beobachtungen die psychophysische Begründung der

Reizschwelle und mithin auch des Weber'schen Gesetzes ergäben, auf die Voraussetzung, dass jene Ansicht vom Sitze der Seele richtig sei, dass also für die Frage, ob eine Nervenerrregung eine bewusste Empfindung in uns hervorrufen werde oder nicht, die Art und Oertlichkeit derjenigen nervösen Organe, in denen die Erregung entsteht, ganz unwesentlich sei; denn nur unter dieser Voraussetzung lässt sich aus solchen Fällen, wo Nervenerrregung ohne eine entsprechende, bewusste Empfindung vorhanden ist, unbedingt darauf schliessen, dass die unseren Empfindungen unmittelbar zu Grunde liegenden körperlichen Thätigkeiten einen gewissen Schwellenwerth übersteigen müssen, um überhaupt bewusste Empfindung bewirken zu können. Die Fechner'sche Ansicht vom Sitze der Seele ist aber durchaus keine allgemein als richtig anerkannte Ansicht weder bei Philosophen noch bei Physiologen. Denn — der Philosophen ganz zu geschweigen — welcher z. B. von allen jenen Physiologen, welche Versuche über die sogenannte physiologische Zeit angestellt haben, hat geglaubt, dass der Zeitpunkt, bei welchem die dem benutzten Sinnesreize entsprechende bewusste Empfindung eintrete, mit demjenigen Zeitpunkte identisch sei, wo die hervorgerufene Nervenerrregung am peripherischen Ende des Sinnesnerven einen gewissen Schwellenwerth erreicht habe, und nicht vielmehr erst mit jenem Zeitpunkte, wo die Erregung sich bis zu gewissen Theilen des Centralorganes fortgepflanzt habe? Kurz Fechner's Ansicht, dass nicht bloss die Erregung gewisser Theile des Centralorganes, sondern die Erregung eines jeden Nervenorganes unter Umständen unmittelbar eine bewusste Empfindung in uns hervorrufen könne, ist nichts weniger als eine allgemein als richtig anerkannte oder von Fechner in unanfechtbarer Weise bewiesene Ansicht und fusst selbst auf der Voraussetzung des psychophysischen Gesetzes. Und doch glaubt Fechner auf Grund dessen, dass unter Voraussetzung der Richtigkeit dieser selbst auf die Annahme des psychophysischen Gesetzes Fechner's sich stützenden Ansicht vom Sitze der Seele gewisse Thatsachen der sinnlichen Aufmerksamkeit die psychophysische Begründung der Reizschwelle und des Weber'schen Gesetzes zu ergeben scheinen, behaupten zu dürfen, dass seine psychophysische Deutung der Maass- und Fundamentalformel „nicht eine unsichere Hypothese, sondern eine Forderung der ganzen thatsächlichen Sachlage, auf welcher wir zu fussen haben“, sei!

Bei der im Vorstehenden kurz angegebenen Sachlage erfordert der Umstand, dass Fechner zu Gunsten seiner Auffassung der Reizschwelle und des Weber'schen Gesetzes an bekannte Thatsachen der sinnlichen Aufmerksamkeit erinnert, aus denen unseres Erachtens bloss dies folgt, dass Nervenirregung vorhanden sein kann, ohne bis in gewisse, mehr oder weniger ausgedehnte und verzweigte Theile des Centralorganes, in das Sensorium fortgepflanzt zu werden, unsererseits keine weiteren Erörterungen und dies um so weniger, da wir bereits früher (Zur Theorie der sinnlichen Aufmerksamkeit, Inauguraldiss. 1873) den Versuch gemacht haben, eine Theorie der sinnlichen Aufmerksamkeit anzudeuten, welcher gemäss die von einem Sinnesreize bewirkte Nervenirregung nur dann eine bewusste Empfindung in uns hervorruft, wenn sie bis in das Sensorium fortgepflanzt worden ist, und alle Vorgänge und Verhältnisse, welche der Erfahrung nach geeignet sind, unsere Aufmerksamkeit einem Sinnesreize zuzuwenden oder zu entziehen, eben dazu dienen, der von diesem Sinnesreize hervorgerufenen Nervenirregung den Zutritt in das Sensorium zu erleichtern, bez. zu erschweren. Es würde uns auch viel zu weit abführen, wollten wir hier unsere früheren Vermuthungen in etwas reiferer Gestalt erneuern und alles das, was sich gegen jene Ansicht Fechner's geltend machen lässt, hier anführen. Allein Fechner macht, wie schon gesehen, für seine Auffassung der Reizschwelle und des Weber'schen Gesetzes ausser jenen Thatsachen der sinnlichen Aufmerksamkeit noch Anderes geltend. So hebt er (Ps. II, S. 438 f.) hervor, dass die Psychologie von unbewussten Empfindungen und Vorstellungen, ja von Wirkungen unbewusster Empfindungen und Vorstellungen nicht abstrahiren könne, aber es grosse Schwierigkeiten zu haben scheine, anzugeben, wie sich eine unbewusste Empfindung oder Vorstellung von einer solchen, die wir gar nicht haben, unterscheide. Daher sei es denn in der That als eines der schönsten Ergebnisse seiner Theorie zu betrachten, dass sie die Empfindung in einer solchen functionellen Beziehung zur psychophysischen Thätigkeit fasse, dass diese fortbestehen könne, während jene nicht mehr vorhanden sei, so dass also nach seiner Theorie von einer unbewussten Empfindung immer dann zu sprechen sei, wenn die psychophysische Thätigkeit den Schwellenwerth nicht erreiche, hingegen das Dasein einer bewussten Empfindung immer dann vorausgesetzt werden müsse, wenn die Intensität der psychophysi-

sche Thätigkeit den Schwellenwerth übersteige. Hiegegen bemerken wir kurz, dass nach der Ansicht, nach welcher Nerven-erregung nur dann als psychophysische Thätigkeit zu betrachten ist, wenn sie auf gewisse, als Sensorium zu bezeichnende Theile des Centralorganes übertragen wird, der Unterschied der bewussten und unbewussten Empfindungen sich in ganz ähnlicher Weise wie nach Fechner's Theorie psychophysisch repräsentiren lässt. Eine bewusste Empfindung tritt eben nach dieser Ansicht immer dann ein, wenn die Nerven-erregung auf das Sensorium übergeht, hingegen bleibt die Empfindung eine unbewusste, wenn die Erregung aus irgend welchen Gründen nicht bis in das Sensorium hinein sich fortpflanzt.

Von grosser Bedeutung scheint Fechner (Ps. II, S. 439 ff.) das Phänomen von Schlaf und Wachen zu sein. Es erscheint ihm nämlich ganz unzweifelhaft, dass während des Schlafes das Bewusstsein ganz schweige; hierin erblickt er, indem er voraussetzt, dass die psychophysische Thätigkeit während des Schlafes nicht ganz aufhöre, eine Bestätigung seiner psychophysischen Deutung der Reizschwelle und er behauptet, dass während des Schlafes die psychophysische Thätigkeit sich allgemein unter der Schwelle befinde und zwar vom Einschlafen an, je mehr sich der Schlaf vertiefe, immer tiefer unter den Schwellenwerth herabsinke, bis sie sich nach erreichter grösster Tiefe wieder bis zur Schwelle hebe, um dann während des wachen Zustandes in zunächst weiter steigende und späterhin allmählich wieder abnehmende Werthe überzugehen. Eine Bestätigung dieser Ansicht vom Schlafzustande erblickt Fechner darin, dass es bei Weckung eines Schlafenden nur darauf ankommt, dass der auf denselben einwirkende Sinnesreiz eine gewisse Intensität besitzt, und zwar diese Intensität eine um so grössere sein muss, je tiefer der Schlaf ist. Auch das Phänomen des Einschlafens führt nach Fechner (Ps. II, S. 445 f.) zu derselben Auffassung des Schlafzustandes. Das Einschlafen erfolge nämlich um so leichter, je mehr alle localen äusseren Reize abgehalten würden, und je weniger überhaupt, sei es durch locale Schmerzen oder besonders gerichtete und gespannte Aufmerksamkeit, sich die dem Bewusstsein unterliegende Thätigkeit des Nervensystemes, resp. Gehirnes, local steigern, je mehr sie sich und je gleichförmiger zugleich sie sich vertheile. Dies könne nun nicht an sich den Erfolg haben, dass die psychophysische Thätigkeit irgendwo null werde,

wohl aber verstehe sich, wie der bei der Annäherung an das Einschlafen sich immer mehr in's Enge ziehende, zuletzt nur noch ganz schwach über die Schwelle erhobene Gipfel der psychophysischen Thätigkeit durch die Ausgleichung mit dem, was schon unter der Schwelle sei, selbst unter die Schwelle sinken und damit Einschlafen erfolgen könne. Selbst die erweckende Wirkung der Entziehung andauernder und gewohnter Reize, das Erwachen des Müllers beim Stehenbleiben der Mühle u. dergl. m. ist nach Fechner's Meinung nur mit Hülfe seiner den Schwellenbegriff in's psychophysische Gebiet übertragenden Theorie erklärbar; und zwar erklärt Fechner diese Beobachtungen in der Weise, dass er annimmt, der Einfluss eines andauernden und gewohnten Reizes diene während des Schlafes mit dazu, eine derartige gleichförmige Höhe und Vertheilung der psychophysischen Thätigkeit zu unterhalten, dass sie allerorts unter der Schwelle bleibe; werde nun etwas von diesem Reize entzogen, so vertiefe sich nothwendig die psychophysische Thätigkeit an gewisser Stelle und steige in Folge dessen nach einem früher erörterten Gesetze, welches mit der Erhaltung der Kraft zusammenhänge, von selbst an anderer Stelle und könne dadurch über die Schwelle getrieben werden.

Zunächst müssen wir fragen, worauf denn eigentlich Fechner die von ihm als ganz selbstverständlich betrachtete Annahme stützt, dass im Schlafe das Bewusstsein ganz schweige. Wir finden bei Fechner auch nicht den geringsten Versuch, diese Voraussetzung zu begründen. Von den Träumen ganz abgesehen, welche nach Fechner merkwürdiger Weise auch nur unbewusste Seelenzustände sind, bei denen sich die psychophysische Thätigkeit unter der Schwelle befindet, und vorausgesetzt, dass es wirklich einen traumlosen Schlaf giebt, so ist doch als unzweifelhafte Thatsache nur dies zu bezeichnen, dass wir uns nach dem Erwachen eines psychischen Zustandes, der uns während des Schlafes bewusst gewesen sei, durchaus nicht zu erinnern vermögen. Diese Thatsache lässt sich aber mit der Annahme, dass während des Schlafes fortwährend ein bewusster Seelenzustand vorhanden sei, sehr wohl vereinigen und zwar mit Hülfe des Satzes, dass für die Reproduction einer bei gewissem Gesamtbefinden und gewisser Stimmung des Nervensystemes vorhanden gewesenen Vorstellung oder Vorstellungsreihe das Dasein eines in gewissem Maasse ähnlichen Gesamtbefindens und einer ähnlichen Stimmung

des Nervensystems nothwendige Bedingung ist. Wenn ein Geisteskranker in seinen lichten Stunden keine Erinnerung mehr von dem hat, was er sonst gethan und erfahren hat, so ist der Grund hiervon nicht darin zu suchen, dass der krankhafte Zustand nur ein halbes oder gar kein Bewusstsein mit sich führe, etwa weil während desselben die Intensität der psychophysischen Thätigkeit einen gewissen Schwellenwerth nicht übersteige. Im Gegentheile, es übertreffen die Vorstellungen und Gemüthsbewegungen des irren Zustandes sehr oft die des gesunden Zwischenzustandes weit an Stärke und Lebhaftigkeit, indem letzterer nicht selten ein Zustand der Depression ist; und die Thatsache jener mangelnden Erinnerungsfähigkeit erklärt sich ebenso wie der Umstand, dass Geistesranke nach Rückfall in ihren krankhaften Zustand ihre Phantasien zuweilen genau an diejenigen Vorstellungen anknüpfen, die sie kurz vor Eintreten des Zwischenstadiums normaler Geistes-thätigkeit hegten, und deren sie sich dennoch während des letzteren Stadiums auch nicht im Geringsten zu erinnern vermochten, leicht durch den oben angeführten Satz. Nun unterliegt keinem Zweifel, dass im Schlafzustande die Stimmung unseres Nervensystemes eine andere ist als im wachen Zustande und zwar um so mehr, je tiefer der Schlaf ist. Es kann daher die Reproduction der während des Schlafes vorhanden gewesenen bewussten Seelenzustände nur insoweit gelingen, als die mit denselben verknüpfte Stimmung des Sensoriums und der angrenzenden Theile des Centralorganes von derjenigen Stimmung dieser Theile, welche während des Wachseins besteht, nicht sehr verschieden ist; was eben der Fall ist, wenn wir während des Schlafes träumen und Vorstellungsbilder im wachen Zustande gehabter Empfindungen noch unser Bewusstsein durchziehen können. Im traumlosen Schlafe hingegen, wo diejenigen Einflüsse, denen unsere Traumbilder ihre Entstehung verdanken, gegen den Einfluss der die Vertiefung des Schlafzustandes anstrebenden, organischen Vorgänge gar nicht mehr aufkommen können, ist die im Sensorium und den übrigen Theilen des Centralorganes herrschende Stimmung von der dem wachen Zustande entsprechenden Stimmung dieser Nervenorgane so sehr verschieden, dass eine Reproduction etwaiger während des traumlosen Schlafes vorhandener bewusster Seelenzustände im wachen Zustande nie gelingen kann und eben nur dann gelingen könnte, wenn während des Wachseins eine ähnliche Stimmung des Nervensystems einträte, wie im Schlaf-

zustande vorhanden ist, d. h., wenn wir während des Wachseins schlafen könnten. Hieraus folgt, dass die Voraussetzung Fechner's, dass während des Schlafes das Bewusstsein ganz schweige, eine ganz willkürliche ist, und ist schon aus diesem Grunde allen auf dieser Voraussetzung fussenden Schlussfolgerungen Fechner's betreffs der Reizschwelle und des Weber'schen Gesetzes jegliche Beweiskraft abzusprechen.

Aber selbst zugegeben, das Bewusstsein schweige während des Schlafes gänzlich, wie kommt Fechner dazu, in diesem periodischen Aufhören der Bewusstseinsthätigkeit eine Bestätigung seiner psychophysischen Deutung der Reizschwelle und des Weber'schen Gesetzes zu erblicken? Wenn wirklich das Bewusstsein während des Schlafes zeitweilig aufhören sollte, so nehmen wir ganz einfach an, dass dies seinen Grund darin habe, dass die Intensität der psychophysischen Thätigkeit während des Schlafes zuweilen gleich Null werde, und es scheint unerfindlich, inwiefern das Phänomen von Schlaf und Wachen der psychophysischen Deutung des Weber'schen Gesetzes „directe Erfahrungsstützen zufüge“. Fechner selbst (Ps. II, S. 443) giebt zu, dass die Annahme, dass im traumlosen Schlafe die psychophysische Thätigkeit ganz aufhöre, vielleicht als die natürlichste Annahme erscheinen könnte, doch spreche gegen diese Annahme das Bedürfniss, für die zunehmende Vertiefung des Schlafes den psychophysischen Zusammenhang mit der Erhöhung des Bewusstseins im Wachen fortzuerhalten. Erlösche die psychophysische Thätigkeit ganz mit dem Momente des Einschlafens, so sei der psychophysische Zusammenhang mit Eintritt des Schlafes unterbrochen, wogegen, wenn die psychophysische Thätigkeit mit dem Einschlafen nur bis zu einer gewissen Grenze, einer Schwelle, sinke, die Vertiefung des Schlafes ihren dem Aufsteigen des Bewusstseins entsprechenden Ausdruck in dem Herabgehen der psychophysischen Thätigkeit unter diese Schwelle finde. Dass dieses Argument nicht im Mindesten stichhaltig ist, liegt auf der Hand. Um die allmähliche Vertiefung des Schlafes psychophysisch repräsentiren zu können, dazu bedürfen wir durchaus nicht des psychophysischen Gesetzes Fechner's. Wir nehmen an, der Schlaf sei um so tiefer, je mehr diejenige Stimmung des Centralorganes, welche von gewissen, näher nicht bekannten, organischen Vorgängen angestrebt wird, sich des Sensoriums und der angrenzenden Theile des Centralorganes bemächtigt hat, je weniger

also die das Auftauchen der Traumbilder anstrebbenden oder begünstigenden Einflüsse gegen den Einfluss jener Vorgänge aufkommen können, und je grössere Widerstände der von jenen Vorgängen herbeigeführte Zustand des Sensoriums und der mit diesem zusammenhängenden Theile der Fortpflanzung der von aussen angeregten Reizprocesse bis in das Sensorium hinein entgegenstellt. Im traumlosen Schlafe ist jener Zustand ein so ausgeprägter und hat in dem Maasse überhand genommen, dass diejenigen Erregungen, welche unsere Traumbilder begleiten, gar nicht mehr im Sensorium entstehen können und möglicher Weise alle psychophysische Thätigkeit schweigt, und dass äussere Sinnesindrücke zur Verdrängung dieses Schlafzustandes sehr beträchtlicher Intensität bedürfen. Träumen wir während des Schlafes, so sind zwar in ausgebreiteten Theilen des Nervensystemes und zwar auch in den die Verbindung des Sensoriums mit den Sinnesorganen vermittelnden Theilen*) diejenigen Veränderungen und Herabminderungen der normalen Lebensthätigkeit vorhanden, deren Eintreten uns kurz vor dem Einschlafen in verschiedener Weise so merklich wird, aber sie erstrecken sich nicht auch auf alle diejenigen Theile des Centralorganes, deren Erregungen unsere Vorstellungsbilder früher gehabter Empfindungen zu begleiten pflegen. Je lebhafter die Erregungen dieser Theile sind, desto mehr werden auch die irradiirenden, zuweilen sogar die Thätigkeit der Muskeln anregenden oder steigernden Wirkungen dieser Nervenenerregungen und der durch diese angeregte und diese selbst wiederum steigernde Blutumlauf im Centralorgane während des Schlafes dazu beitragen, den Schlafzustand aus den angrenzenden Gebieten des Centralorganes zu verdrängen, und während des Wachseins dazu dienen, den Schlaf fernzuhalten. Hieraus erklärt sich, dass sehr grosse Lebhaftigkeit der Träume oft erweckend wirkt und wir um so eher einschlafen, je monotoner und weniger lebhaft der Lauf unserer Gedanken ist.

Aus den vorstehenden flüchtigen Bemerkungen erhellt nicht bloss, dass man die Vertiefung des Schlafzustandes sehr wohl psychophysisch repräsentiren kann, wenn man annimmt, dass im

*) Die Neigung, doppelt zu sehen, welche bei grosser Schläfrigkeit vorhanden ist, hat darin ihren Grund, dass der Schlafzustand gewisse Leitungsbahnen der Sehnervenenerregungen ergreift und in Folge dessen die Anregungen derjenigen Reflexcentren, welche die unwillkürliche normale Einstellung der Augen bewirken, etwas zu schwach ausfallen.

traumlosen Schläfe ebenso wie das Bewusstsein auch die psychophysische Thätigkeit ganz schweige, sondern auch, dass sich mit dieser Annahme die Thatsachen sehr wohl vertragen, dass jeder Sinnesreiz, um uns aus dem Schläfe erwecken zu können, eine gewisse, mit der Tiefe des Schlafes wachsende Intensität besitzen muss, und wir um so leichter einschlafen, je weniger lebhaft und unser Interesse erregend unser Gedankenlauf ist. Wie schon auf Seite 354 bemerkt, erblickt Fechner auch in der erweckenden Wirkung der Entziehung gewohnter Sinnesreize eine Bestätigung seiner Ansicht vom Schlaf und Wachen. Wir haben bereits bei anderer Gelegenheit (Zur Theorie der sinnlichen Aufmerksamkeit, S. 126 ff.) dargelegt, auf welche Weise nach unserer Ansicht die allmähliche Abstumpfung der Aufmerksamkeit für lange andauernde und gewohnte Reize und die damit zusammenhängende, aus dem Schläfe erweckende Wirkung des Aufhörens solcher Reize zu Stande kommt. Einer erneuten Auseinandersetzung unserer Theorie, mit welcher die Annahme, dass die psychophysische Thätigkeit des Sensoriums während des traumlosen Schlafes ganz schweige, sich wohl verträgt, können wir uns hier um so eher entheben, da wir weiterhin auf S. 360 ff. zeigen werden, dass das angeblich aus dem Gesetze der Erhaltung der Kraft folgende Princip, auf welchem die Fechner'sche Erklärung (vergl. S. 354) der erweckenden Wirkung des Aufhörens andauernder und gewohnter Sinnesreize fusst, in der weiten Anwendung, die ihm Fechner giebt, ein ganz verfehltes ist.

Wie wir in den vorstehenden Erörterungen gesehen haben, sprechen also die Thatsachen der sinnlichen Aufmerksamkeit, welche Fechner zu ergeben scheinen, dass psychophysische Thätigkeit auch ohne entsprechende bewusste Empfindung vorhanden sein könne, nur dann für die psychophysische Deutung der Reizschwelle und des Weber'schen Gesetzes, wenn man Fechner's bisher durchaus nicht allgemein anerkannte, selbst auf der Voraussetzung des psychophysischen Gesetzes Fechner's fussende Ansicht vom Sitze der Seele theilt. Und nur unter der letzteren Bedingung besitzt die Behauptung Fechner's ihre Berechtigung, dass nur seine Theorie eine befriedigende psychophysische Repräsentation des Unterschiedes der bewussten und der unbewussten Empfindungen und Vorstellungen zulasse. Was endlich Fechner's Versicherung betrifft, dass das Phänomen von Schlaf und Wachen nur mit Hülfe der Voraussetzung einer psychophysischen Be-

gründung der Reizschwelle erklärbar sei, so stützt sich dieselbe auf die beiden Annahmen, dass während des Schlafes das Bewusstsein ganz schweige, und dass die psychophysische Thätigkeit hingegen auch während des Schlafes nicht ganz aufhöre. Wie wir gesehen haben, ist die erstere Annahme eine noch ganz unerwiesene, und sollte das Bewusstsein während des traumlosen Schlafes wirklich ganz schweigen, so steht der nahe liegenden Vermuthung, dass auch die psychophysische Thätigkeit während des traumlosen Schlafes ganz aufhöre, durchaus nichts Triftiges entgegen. Nun versichert allerdings Fechner auch noch, dass seine psychophysische Deutung der Reizschwelle und des Weber'schen Gesetzes allein eine befriedigende psychophysische Repräsentation der Verhältnisse zwischen dem Allgemeinbewusstsein und seinen Sonderphänomenen gestatte, und er versucht auch im 42. Capitel seiner „Elemente der Psychophysik“ diese Verhältnisse vom Standpunkte seiner Theorie aus klar zu legen. Indessen man wird die Berechtigung jener Versicherung Fechner's nach dem Bisherigen leicht ermessen können; wir sehen daher von einer Kritik jener ganz auf der Fechner'schen Theorie von Schlaf und Wachen fussenden und schon deshalb in der Luft stehenden, zum Theil höchst sonderbaren und bisher kaum irgendwo berücksichtigten Darlegungen Fechner's ganz ab und wenden uns zu einer kurzen Erörterung jenes Principes, auf welchem unter Anderem auch Fechner's Erklärung der erweckenden Wirkung der Entziehung andauernder und gewohnter Sinnesreize und überhaupt dessen ganze Theorie der sinnlichen Aufmerksamkeit beruht.

Wenn Jemand in tiefes Nachdenken versunken ist oder seine Aufmerksamkeit ganz auf eine Reihe von Gesichtseindrücken concentrirt, so werden Gehörsreize, welche sonst, nämlich wenn sein Nachdenken oder die Concentration der Aufmerksamkeit auf den Gesichtssinn nicht so intensiv wäre, unwillkürlich seine Aufmerksamkeit auf sich ziehen würden, ihm gar nicht zum Bewusstsein kommen. Fälle dieser Art erklärt nun Fechner, wie gesehen, in der Weise, dass er annimmt, der betreffende Gehörsreiz sei unter solchen Umständen nicht im Stande, eine Nervenregung hervorzurufen, welche den Erregungsschwellenwerth übersteige, und deshalb müsse nothwendig die Empfindung desselben eine nur unbewusste sein. Man muss nun aber fragen, warum denn sonst bei weniger intensivem Nachdenken oder weniger intensiver

Anspannung der Aufmerksamkeit der betreffende Gehörsreiz im Stande sei, eine Erregung hervorzurufen, welche den Schwellenwerth übersteige. Zur Beantwortung dieser Frage soll ein Princip dienen, das Fechner im 5. Capitel seiner „Elemente der Psychophysik“ näher erörtert. Fechner geht davon aus, dass nach dem Gesetze der Erhaltung der Kraft in einem seinen inneren Wirkungen überlassenen Systeme die lebendige Kraft in einem Theile des Systemes ohne Abnahme der Spannkräfte wachsen, bez. ohne Zunahme derselben abnehmen kann, wenn sie zugleich in einem andern Theile des Systemes vermöge der Uebertragung der lebendigen Kraft vom einen Theile auf den andern abnimmt, bez. zunimmt, und er betrachtet das menschliche Nervensystem als ein System, für dessen Thätigkeit dieses Gesetz in gewisser Hinsicht gleichfalls gültig sei. „Wir können denken“, so äussert er sich, „und dabei noch Anderes mit unseren körperlichen Organen treiben, und thun es in der Regel. Jetzt aber soll die Kraft des Denkens gesteigert werden. Sofort sehen wir, wie es, statt lebendige Kraft aus eigenem Quelle zur Verstärkung der psychophysischen Thätigkeit, die es zu seiner eigenen Verstärkung braucht, schaffen zu können, solche anderen körperlichen Thätigkeiten raubt, und ohnedem sich nicht verstärken kann. Noch eben war Jemand in einer starken körperlichen Arbeit begriffen, da kommt ihm ein Gedanke, der ihn mehr als gewöhnlich beschäftigt, sofort sinken die Arme und bleiben hängen, so lange der Gedanke und mithin die psychophysische Thätigkeit desselben innerlich stark arbeitet, um ihre äussere Arbeit von Neuem zu beginnen, wenn diese innere nachlässt. Wo war die lebendige Kraft der Armbewegungen auf einmal hin? Sie diente, die Bewegungen im Kopfe anzufachen. . . . Dasselbe Verhältniss als zwischen den psychophysischen und nicht psychophysischen Thätigkeiten findet auch zwischen den einzelnen Gebieten der psychophysischen Thätigkeiten statt. In eine äussere Anschauung ganz versunken sein und zugleich tief nachdenken, geht nicht. Zugleich aufmerksam sehen und hören, geht nicht. Um schärfer auf etwas zu reflectiren, müssen wir von Anderem mehr abstrahiren; und wie sich die Aufmerksamkeit theilt, schwächt sie sich für das Einzelne. Hier könnte man allerdings ein Spiel rein psychologischer Gesetze sehen, wenn diese Thatfachen allein ständen. Aber sie hängen zu sehr mit den vorigen zusammen, um nicht darin zugleich eine Ausdehnung des Gesetzes der Er-

haltung der Kraft auf das rein psychophysische Spiel zu sehen. Das Denken braucht zu seiner Verstärkung nicht den nicht psychophysischen Thätigkeiten lebendige Kraft zu entziehen, wenn es anderen im Gange befindlichen psychophysischen Thätigkeiten solche entziehen kann“ u. s. w. Nur mit Hülfe dieser Annahme, dass die dem Nachdenken oder unserer in einer bestimmten Sinnessphäre beschäftigten Aufmerksamkeit unterliegende psychophysische Thätigkeit einer in einer anderen Sinnessphäre entstehenden Nervenregung lebendige Kraft entziehen könne, vermag Fechner die Fälle zu erklären, wo ein Sinneseindruck, der sonst unsere Aufmerksamkeit leicht auf sich zieht, uns in Folge intensiven Nachdenkens oder anderweit beschäftigter Aufmerksamkeit gar nicht zum Bewusstsein kommt, d. h. also nach Fechner nicht im Stande ist, ebenso wie sonst eine den Schwellenwerth übersteigende Erregung hervorzurufen. Diese Annahme ist jedoch nicht bloss eine ganz unerwiesene, sondern auch nach unseren jetzigen Kenntnissen der inneren Mechanik der Nerven kaum denkbar. Auf welche Weise sollen z. B. die einer Reihe von Gesichtsempfindungen unterliegenden psychophysischen Thätigkeiten einer gleichzeitigen Erregung des Hörnerven ein gewisses Quantum lebendiger Kraft ablocken? Fechner selbst erkennt das Bedenkliche seiner Annahme und sucht dem dadurch abzuhelpen, dass er (Ps. I, S. 42) Folgendes bemerkt: „Der letzte Quell der lebendigen Kraftentwicklung in unserem Körper liegt nach Allem, was wir vermuthen dürfen, im Ernährungsprocess, und indem jeder Theil seinen Ernährungsprocess in sich hat, hat er auch einen Quell lebendiger Kraft in sich. Aber die Erfahrung beweist von anderer Seite durch Thatsachen der Art, wie wir sie hier geltend gemacht, dass dieser Process im ganzen Organismus in solidarischem Zusammenhange erfolgt, so dass nicht nur kein Theil sich für sich zu ernähren vermöchte, sondern auch quantitative Verhältnisse der Abwägung zwischen den Ernährungsprocessen der verschiedenen Theile eintreten, welche im Sinne des Gesetzes der Erhaltung der Kraft sind. Auch erklärt der Umstand, dass der Ernährungsprocess aller Theile unter dem Einflusse des Blutlaufes und der Nerventhätigkeit steht, welche einen Zusammenhang durch den Organismus begründen, leicht diesen allgemeinen Nexus des Ernährungsprocesses aller Theile. Ungeachtet daher weder die lebendige Kraft, noch ein besonderer Träger derselben, wie der Dampf in der Dampfmaschine, wirklich

unmittelbar zwischen den verschiedenen Theilen überfließt, sich vertheilt, durch Reize, Aufmerksamkeit, Willen da- und dorthin gelockt wird, werden wir doch immer der Kürze halber uns des Ausdruckes Vertheilung der lebendigen Kraft und entsprechender bildlicher Ausdrücke bedienen dürfen, nachdem wir die triftige Vorstellung unterzulegen wissen“. Fechner stellt sich also vor, unser Organismus habe stets gewissermaassen nur eine beschränkte Menge von Mitteln zur Verfügung, welche zur Ernährung der verschiedenen Theile unseres Körpers, specieller unseres Nervensystemes, und zur Unterhaltung der in denselben stattfindenden Erregungsvorgänge dienen könnten; werde nun ein beträchtlicher Theil dieser Mittel zur Unterhaltung lebhafter Thätigkeit in dem einen Organe verwendet, so müsse nothwendig die Thätigkeit anderer Organe weniger lebhaft ausfallen, als sie bei geringerer Intensität der Thätigkeit jenes einen Organes ausfallen würde. Es fragt sich nun, ob dieses Princip des solidarischen Zusammenhanges der Ernährungsprocesse der verschiedenen Körpertheile in dem Umfange ein erwiesenes ist, dass es mit gutem Grunde in der Fechner'schen Weise zur Erklärung der Thatsachen der sinnlichen Aufmerksamkeit geltend gemacht werden kann. Diese Frage muss unbedingt verneint werden. Dass der Blutumlauf in den verschiedenen Körpertheilen sich nach dem Grade der Thätigkeit der letzteren richtet und zwar in einem Organe um so reger von staten geht, je lebhafter die Thätigkeit desselben ist, dürfte allerdings Thatsache sein. Aber hieraus folgt bei weitem noch nicht, dass z. B. die von einem bestimmten Schallreize bewirkte Nervenirregung dann, wenn wir in tiefes Nachdenken versunken sind, beträchtlich schwächer ausfalle, als sie bei geringerer Intensität des Nachdenkens ausfällt. Die Intensität der Hörnervenirregung, welche bei Einwirkung eines bestimmten Schallreizes zunächst*) eintritt, hängt lediglich von der Stärke des Sinnesreizes und von der vorhandenen Erregbarkeit des Hörorganes und Hörnerven ab. Diese Erregbarkeit aber ist abhängig von den im Nerven und dessen peripherischen Endorganen angehäuften Spannkraften (der „Molekularspannung“) und den Widerständen, welche der Auslösung dieser Spannkraften durch einen

*) Sobald der Reiz einige Zeit gewirkt hat, kommt allerdings auch noch die von dem Blutumlaufe abhängige Schnelligkeit in Betracht, mit welcher die im Nerven und in den damit zusammenhängenden centralen Theilen ausgelösten Spannkraften wieder ersetzt werden.

äusseren Reiz entgegenstehen (der „Molekularhemmung“). Wie soll nun z. B. der Umstand, dass uns kurz vor Einwirkung eines Schallreizes ein Gedanke kommt, der uns ganz in Anspruch nimmt, in Folge des solidarischen Zusammenhanges aller in unserem Organismus stattfindenden Ernährungsprocesse dies bewirken können, dass die Erregbarkeit des Hörnerven alsbald eine beträchtlich geringere wird und demgemäss der betreffende Schallreiz gleich von vorn herein eine beträchtlich schwächere Erregung zu Folge hat, als er bei sonst ganz gleichen Verhältnissen hervorgerufen haben würde, wenn wir uns im Zustande der Zerstreuung befunden hätten. Soll unser Nachdenken die im Hörnerven angehäuften Spannkkräfte verringern, ohne sie gleichzeitig in die lebendige Kraft einer Hörnervenerregung umzusetzen? Oder soll dasselbe die der Auslösung jener Spannkkräfte entgegenstehenden Widerstände vermehren? Und wie soll dies mittels des solidarischen Zusammenhanges der gesamten Ernährungsprocesse bewerkstelligt werden? Glaubt man, dass der Verlust der geringen*) Blutmenge, welche das Nachdenken denjenigen Blutgefässen entzieht, die dem Hörnerven und dessen centralen Endigungen zugetheilt sind, die Erregbarkeit dieser Nervenorgane in so hohem Maasse beeinträchtigen könne? Wäre dies der Fall, und wäre überhaupt die Einrichtung unseres Organismus eine solche, wie jene Annahme Fechner's voraussetzt, so müsste nach intensivem Nachdenken eine gleiche Ermüdung des Seh- oder Hörnerven beobachtet werden wie nach starker und andauernder Licht-, bez. Schallreizung; jede bewusst empfundene längere Lichtreizung müsste zugleich eine Abstumpfung des Hörsinnes mit sich führen; jede angestrengte Thätigkeit der Arme oder Beine müsste zugleich die Intensität unserer Gesichtsempfindungen beeinträchtigen u. dergl. m. Von alle dem aber beobachten wir nicht das Mindeste; und daher dürfte der Versuch Fechner's miss-

*) Da während tiefen Nachdenkens Sinnesreize der verschiedensten Art, welche unsere Aufmerksamkeit sonst leicht auf sich ziehen, uns ganz entgehen und ausserdem auch unsere Schritte sich verlangsamen u. dergl. m., so muss nach Fechner's Ansicht das verhältnissmässig sehr geringe Quantum Blutes, welches das Nachdenken für die ihm unterliegenden körperlichen Thätigkeiten anderen Körpertheilen entzieht, allen möglichen Sinnessphären und noch zahlreichen anderen Theilen des Organismus entnommen werden; es kann daher die Blutmenge, welche das Nachdenken einer einzelnen Sinnessphäre entzieht, eine nur äusserst geringe sein.

lungen sein, auf Grund des solidarischen Zusammenhanges aller Ernährungsprocesse darzuthun, dass, wenn bei anderweit intensiv beschäftigter Aufmerksamkeit ein Sinnesreiz von nicht geringer Intensität unserem Bewusstsein ganz entgehe, dies seinen Grund darin habe, dass die von diesem sonst leicht bemerkten Sinnesreize hervorgerufene Nervenregung eben wegen jener anderen Beschäftigung der Aufmerksamkeit beträchtlich geringer als sonst und zwar noch geringer als der Erregungsschwellenwerth ausfalle. Eine nähere Darlegung unserer Auffassung jener Thatsachen der sinnlichen Aufmerksamkeit gehört nicht hierher. Nur darauf wollen wir kurz aufmerksam machen, dass Fechner die durch die Erscheinungen der Reflexhemmung und andere ähnliche Thatsachen constatirte Fähigkeit der Nervenprocesse, einander theilweise oder gänzlich zu hemmen, völlig übersehen zu haben scheint. Viele derjenigen Thatsachen, in denen Fechner eine Bestätigung seines Principes des solidarischen Zusammenhanges aller Ernährungsprocesse erblickt, erklären sich weit besser, wenn man sie als Nervenhemmungserscheinungen auffasst. Wenn z. B. ein intensiver Gedanke eine Armbewegung unterbricht, so ist dies unserer Ansicht nach eine einfache Folge der Hemmung, welche die jenem Gedanken entsprechende, irradiirende Nervenregung auf die Erregung derjenigen Nervencentren ausübt, von denen aus die Armbewegung angeregt und unterhalten wird; nicht aber dient, wie Fechner sich ausdrückt, die nur scheinbar verschwundene lebendige Kraft der Armbewegung dazu, die Bewegungen im Kopfe anzufachen. Vielleicht wird man nun vom Standpunkte der Fechner'schen Theorie aus behaupten wollen, dass, wenn uns ein sonst leicht wahrgenommener Sinnesreiz nicht zum Bewusstsein komme, dies seinen Grund darin habe, dass die von diesem Sinnesreize hervorgerufene Nervenregung von Seiten anderer, sei es einem intensiven Nachdenken, sei es einer in anderen Sinnessphären beschäftigten Aufmerksamkeit zu Grunde liegender, Nervenregungen in dem Maasse gehemmt werde, dass sie den Erregungsschwellenwerth nicht übersteigen könne. Aber auch gegen diese Annahme würden wir einwenden, dass zwar höchst wahrscheinlich die von einem Sinnesreize hervorgerufene Erregung innerhalb gewisser Theile des Centralorganes durch gleichzeitige andere Nervenregungen geschwächt und in ihrer Weiterverbreitung behindert werden könne, aber äusserst unwahrscheinlich sei, dass sich diese Abschwächung der Erregung durch

gleichzeitige andere Nervenprocesse auch bis in den Sinnesnerven und die am peripherischen Ende desselben befindlichen Nervenorgane erstrecke. Ist das Letztere nicht der Fall, so ist der Fechner'schen Auffassung, nach welcher jede Nervenirregung, sobald sie nur die Schwelle übersteigt, eine bewusste Empfindung in uns hervorrufen soll, nicht geholfen, da dieselbe dann immer noch die Frage zu beantworten hat, wie es komme, dass, wie aus gewissen Thatsachen der sinnlichen Aufmerksamkeit zu schliessen, innerhalb der verschiedenen Sinnesnerven und der mit diesen verknüpften peripherischen Nervenorgane oft Erregungen bestehen, welche uns, obwohl ihre Intensitäten den Schwellenwerth zweifelsohne übersteigen, dennoch nicht zum Bewusstsein kommen.

§ 116.

Wenn also Fechner behauptet, dass gewisse Erscheinungen der sinnlichen Aufmerksamkeit und andere ähnliche Thatsachen sich nur mit der psychophysischen Deutung der Reizschwelle und des Weber'schen Gesetzes vertragen, so können wir nach dem Vorstehenden getrost erwidern, dass diese Behauptung auf einer Anzahl zum Theil unhaltbarer, zum Theil wenigstens unerwiesener Voraussetzungen fusst, z. B. auf der Voraussetzung, dass Fechner's Ansicht vom Sitze der Seele und von der Bedeutung des Zusammenhanges aller Ernährungsprocesse des menschlichen Körpers richtig sei, dass während des Schlafes zwar das Bewusstsein, nicht aber die psychophysische Thätigkeit ganz schweige u. dergl. m. Mit ganz dem gleichen Rechte, mit welchem Fechner sich auf diese Annahmen stützt, könnte man auf anderen Voraussetzungen fussend behaupten, dass nur die physiologische Auffassung des Weber'schen Gesetzes eine befriedigende Erklärung der Erscheinungen der sinnlichen Aufmerksamkeit, der Phänomene von Schlaf und Wachen u. dergl. m. zulasse. Merkwürdig erscheint uns, dass Fechner bei dem Versuche, seine Auffassung des Weber'schen Gesetzes zu rechtfertigen, gerade den Umstand so in den Vordergrund stellt, dass nach seiner Auffassung jede Empfindung erst bei einer bestimmten endlichen Intensität der psychophysischen Thätigkeit einen positiven Werth erreicht. Denn eben dieser Umstand scheint uns, wie aus dem

Folgenden näher hervorgehen wird, ganz besonders gegen Fechner's psychophysisches Gesetz zu sprechen.

Man mag betreffs des Verhältnisses zwischen Physischem und Psychischem, Seele und Leib denken was man will, von allen Annahmen, die sich von vorn herein betreffs der Abhängigkeit der Empfindungsstärke von der Intensität der ihr unmittelbar zu Grunde liegenden körperlichen Thätigkeit darbieten, ist zweifelsohne die Annahme, dass psychische und physische Intensität einander proportional gehen, die naheliegendste und zunächst an den Thatsachen zu prüfende Voraussetzung. Ist man vollends wie Fechner der Ansicht, dass psychischer und physischer Vorgang im Grunde nur 2 Seiten oder Erscheinungsweisen eines und desselben Vorganges sind, so ist die Voraussetzung der Proportionalität von psychischer und physischer Intensität nicht bloss die naheliegendste, sondern sogar die einzig mögliche Annahme; und ganz unbegreiflich ist uns, wie Fechner, ohne zugleich seine ganze Auffassung des Wechselverhältnisses zwischen Physischem und Psychischem zu ändern, hat sein psychophysisches Grundgesetz aufstellen können, nach welchem die psychophysische Thätigkeit sogar einen gewissen Schwellenwerth übersteigen muss, um überhaupt eine bewusste Empfindung hervorrufen zu können. Aber auch vom Standpunkte einer solchen Ansicht aus, nach welcher Physisches und Psychisches nicht bloss zwei verschiedene Erscheinungsweisen eines und desselben Wesens sind, muss die Annahme von Fechner's psychophysischem Gesetze als eine sehr gewagte und kaum denkbare Annahme erscheinen und zwar hauptsächlich wegen der aus ihr folgenden Schwelle der psychophysischen Thätigkeit. Man kann sich gar nicht vorstellen, warum die Intensität derjenigen körperlichen Thätigkeit, welche unmittelbar auf die Seele wirkt, erst einen gewissen Schwellenwerth übersteigen müsse, um in dieser Seele, mit welcher sie in unmittelbarer Wechselwirkung steht, eine Empfindung hervorrufen zu können. Dass ein Vorgang x , von welchem ein anderer Vorgang y abhängt, eine gewisse Grösse x_0 erreichen müsse, damit überhaupt ein endlicher positiver Werth von y eintrete, erscheint sehr wohl möglich, wenn die Wechselwirkung der beiden Vorgänge keine ganz unmittelbare ist und Widerstände denkbar sind, welche verhindern, dass x einen endlichen Werth von y zu Folge hat, so lange es den Werth von x_0 nicht erreicht hat. Aber welcher Art sollen die Widerstände sein, welche

die psychophysische Thätigkeit zu überwinden hat, bevor sie im Stande ist, eine bewusste Empfindung in uns hervorzurufen?*) Auch Fechner selbst ist die metaphysische Schwierigkeit, welche sein psychophysisches Gesetz einschliesst, nicht ganz entgangen, wie aus folgender Auslassung desselben hervorgeht (Ps. I, S. 246): „In der Thatsache der Schwelle liegt von vorn herein etwas Paradoxes. Der Reiz oder Reizunterschied kann bis zu gewissen Grenzen gesteigert werden, ohne gespürt zu werden; von einer gewissen Grenze an wird er gespürt und wird sein Wachsthum gespürt. Wie kann das, was im Bewusstsein nichts wirkt, wenn es schwach ist, durch Verstärkung etwas darin zu wirken anfangen? Es scheint, als ob Summation von Nullwirkungen ein Etwas der Wirkung geben könnte. Aber wenn dieses Verhältniss einem Metaphysiker Schwierigkeit machen kann, so hat es aus mathematischem Gesichtspunkte keine Schwierigkeit, und dies möchte darauf deuten, dass der mathematische Gesichtspunkt, nach welchem die Grösse der Empfindung als Function der Grösse des Reizes (respectiv der dadurch ausgelösten inneren Bewegungen) betrachtet werden kann, auch der richtige metaphysische ist. In der That, wenn y eine Function von x ist, kann y bei gewissen Werthen von x verschwinden, in's Negative oder Imaginäre übergehen, indess es hinreicht, x über diesen Werth hinaus zu vergrössern, um y wieder positive Werthe erlangen zu sehen“. Die Reizschwelle, falls sie wirklich existirt, braucht keinem Metaphysiker Schwierigkeiten zu machen, da sie sich, wie in § 89 hinreichend gezeigt, auf rein physiologischem Wege leicht erklärt. Wohl aber erscheint die Uebertragung des Schwellenbegriffes auf die psychophysische Thätigkeit vom metaphysischen Standpunkte aus bedenklich, und dem psychophysischen Gesetze Fechner's gegenüber erhebt sich allerdings die Frage, wie das, was im Bewusstsein nichts wirke, wenn es schwach ist, bei eintretender Verstärkung etwas darin zu wirken anfangen. Was Fechner in der angeführten Auslassung vorbringt, um dieses Bedenken zu beseitigen, ist ganz unzulänglich. Wenn wir die Empfindungsstärke s als irgend eine beliebige Function der Erregungsintensität E betrachten, so wird dies aus rein mathematischem Gesichtspunkte nie eine Schwierigkeit haben — so

*) Ganz dasselbe, was wir im Obigen geltend machen, führt auch Hering (a. a. O. S. 21 f.) gegen Fechner's psychophysisches Gesetz an.

macht z. B. die Annahme, dass $s = k \sin \frac{E\pi}{2}$ sei, aus rein mathematischem Gesichtspunkte ebenso wenig Schwierigkeiten wie das psychophysische Gesetz Fechner's, — und Schwierigkeiten können bloss daraus entspringen, dass wir die mathematisch ableitbaren Consequenzen des angenommenen functionellen Verhältnisses mit den Thatsachen und unseren Voraussetzungen betreffs der Wechselwirkung zwischen Leib und Seele nicht zu vereinen wissen. Das Letztere ist eben der Fall, indem wir nicht wissen, wie sich die aus dem psychophysischen Grundgesetze Fechner's folgende psychophysische Schwelle mit irgend einer der herrschenden Auffassungen der Seele und deren Wechselwirkung mit dem Physischem vereinen lasse.

Noch ungünstiger wird die Sachlage für die psychophysische Auffassung dadurch, dass nach dem psychophysischen Gesetze Fechner's den unterhalb des Schwellenwerthes liegenden Intensitäten der psychophysischen Thätigkeit genau genommen nicht Empfindungen entsprechen, deren Werth $= 0$ ist, sondern vielmehr negative Empfindungen, deren Intensitäten zwischen 0 und $-\infty$ liegen. Diese von Fechner's psychophysischem Gesetze geforderte Annahme negativer Empfindungen ist aber eine höchst bedenkliche Annahme, zu deren Rechtfertigung uns zur Zeit auch nicht die geringsten Erfahrungsthatsachen vorliegen. Man wird uns vielleicht einwerfen wollen, dass nach Fechner's Auseinandersetzungen (Ps. II, S. 39 ff.) der negative Werth einer Empfindung nur den Unbewusstseinsgrad derselben oder die Entfernung von der Spürbarkeit oder Wirklichkeit einer Empfindung ausdrücke, nicht aber einen negativen, der bewussten Empfindung entgegengesetzten Erregungszustand der Seele. Fechner glaubt diese seine Auffassung der negativen Empfindungswerthe durch den Hinweis darauf rechtfertigen zu können, dass man den Vermögensstand eines Menschen, der nichts, aber auch keine Schulden habe, triftig mit einem Nullwerthe bezeichne, ebenso triftig aber auch grössere oder kleinere Schulden mit grösseren oder kleineren negativen Werthen bezeichne, um auszudrücken, dass mehr oder weniger Geld und Güter zum Besitzstande hinzugefügt werden müssen, um nur erst den Nullpunkt herbeizuführen. Wie nun im Falle der Schulden ein grösserer oder geringerer Zuwachs von Geld und Gütern erforderlich sei, den Nullzustand des Vermögens herbeizuführen, über welchen hinaus erst das positive

Vermögen beginne, so auch im Falle des Unbewusstseins ein grösserer oder geringerer Zuwachs des Reizes, resp. der dadurch auszulösenden psychophysischen Bewegung, um den Nullzustand der Empfindung herbeizuführen, von wo an sie erst positive Bewusstseinswerthe gewinne. Hiegegen bemerken wir Folgendes. Der Gegensatz der Vorzeichen $+$ und $-$ bedeutet stets, dass die mit entgegengesetzten Vorzeichen versehenen Grössen mit einander vereinigt gedacht, falls sie ihren absoluten Werthen nach einander gleich sind, einander ganz aufheben, und nur, wo ein derartiger, actualer Gegensatz der in Frage stehenden Grössen denkbar ist, ist es erlaubt, Ansichten zu huldigen, die nothwendig zu einer Unterscheidung derselben in positive und negative Grössen führen. So äussert sich auch Gauss*) (Göttinger gelehrte Anzeigen von 1831, S. 635) folgendermaassen: „Positive und negative Zahlen können nur da eine Anwendung finden, wo das Gezählte ein Entgegengesetztes hat, was mit ihm vereinigt gedacht der Vernichtung gleich zu stellen ist.“ Die Schulden, die Jemand hat, bezeichnen wir eben deswegen als negatives Vermögen, weil ein gleich grosses positives Vermögen mit ihnen vereinigt gedacht den Nullzustand des Vermögens ergiebt. Kein Mensch wird glauben von negativen Muskelcontractionen deswegen reden zu dürfen, weil der Reiz des motorischen Nerven einen gewissen Schwellenwerth übersteigen muss,

*) Man vergl. auch Langer, a. a. O. S. 51 und 66. — Fechner (Ps. II, S. 40) macht geltend, dass der Gegensatz des Vorzeichens im Systeme rechtwinkliger Coordinaten nur einen Gegensatz der Richtung bezeichne. Allein eine Linie, die sich von einem gegebenen Ausgangspunkte aus in bestimmter Richtung erstreckt, stellen wir uns vor als dadurch entstanden, dass sich ein Punkt von dem gegebenen Ausgangspunkte aus in der betreffenden Richtung bewegte. Eine gleich grosse Linie, die sich in entgegengesetzter Richtung erstreckt, verdankt dieser Vorstellungsweise nach ihren Ursprung einer Bewegung von entgegengesetzter Richtung, die mit der ersteren Bewegung vereinigt gedacht sich völlig aufhebt; und in diesem letzteren Umstande liegt die Berechtigung, den Gegensatz der Richtung durch einen Gegensatz des Vorzeichens anzudeuten. Man vergl. hierzu Drobisch's Darlegungen in den Sitzungsber. d. Sächs. Ges. d. W., Math.-Phys. Cl., von 1853, S. 167. Bemerkenswerth ist übrigens, dass Fechner selbst (Ps. II, S. 209 und 219) bei seinem Versuche einer Elementarconstruction des Empfindungsmaasses die positiven und negativen elementaren Empfindungsbeiträge algebraisch addirt.

um überhaupt eine Muskelcontraction hervorrufen zu können, und, um diesen Erfolg zu haben, eines um so grösseren Zuwuchses bedarf, je tiefer er unterhalb dieses Schwellenwerthes liegt; wohl aber würde man eine active Erschlaffung oder Elongation, wie solche nach dem auf S. 303 Bemerkten neuerdings A. Gruenhagen und Samkowj am Irissphinkter der Katze und des Kaninchens beobachtet zu haben glauben, nicht untriftig als eine negative Muskelverkürzung bezeichnen können, weil eine solche Elongation des Muskels mit einer gleich grossen Verkürzung desselben vereinigt gedacht den Nullpunkt der Muskelcontraction ergeben würde. Ebenso ist es ganz ungerechtfertigt, daraus, dass die psychophysische Thätigkeit einen gewissen Schwellenwerth übersteigen müsse, um überhaupt eine bewusste Empfindung in uns zu bewirken, die Berechtigung, von positiven und von negativen Empfindungen zu sprechen, ableiten zu wollen und zu schliessen, dass die negativen Empfindungswerthe, welche das psychophysische Gesetz Fechner's ergiebt, bloss auf die grösseren oder geringeren Reizzuwüchse hinwiesen, welche nothwendig seien, damit der vorhandene Reiz eine bewusste Empfindung bewirke; vielmehr muss man, wenn man das psychophysische Gesetz Fechner's als gültig ansieht, nothwendig annehmen, dass es zwei einander entgegengesetzte Arten von Empfindungen, positive und negative Empfindungen, giebt, deren Gegensatz ein derartiger ist, dass eine negative Empfindung mit einer gleich grossen positiven Empfindung vereinigt gedacht ebenso den Nullpunkt der Empfindung ergiebt, wie ein negatives Vermögen mit einem gleich grossen positiven Vermögen vereinigt gedacht den Nullzustand des Vermögens ergiebt. Man beachte auch Folgendes. Wenn die Intensität der psychophysischen Thätigkeit E gleich $\frac{E_0}{2}$ oder gleich 0 ist, wo E_0 den Erregungsschwellenwerth bedeutet, so ist nach dem psychophysischen Gesetze Fechner's die Empfindungsintensität $= -x \log 2$, bez. $= -x \infty$. Diese beiden Werthe müssen offenbar irgend etwas Messbares bedeuten, d. h. es müssen irgend welche von den Erregungsintensitäten $\frac{E_0}{2}$ und 0 abhängige Vorgänge, Beziehungen oder Umstände sich so zu einander verhalten, wie sich die Werthe $-x \log 2$ und $-x \infty$ zu einander verhalten. Nach Fechner's Ansicht bedeuten die negativen Empfindungswerthe nur die grössere oder geringere

„Entfernung von der Wirklichkeit einer Empfindung“. Nach welchem Maasse soll nun, fragen wir, die Entfernung von der Wirklichkeit einer Empfindung gemessen sein, welche bei Vorhandensein einer psychophysischen Thätigkeit von der Intensität $\frac{E_0}{2}$ durch den Werth $-\alpha \log 2$ und bei gänzlichem Schweigen aller psychophysischen Thätigkeit durch den Werth $-\alpha \infty$ ausgedrückt wird? Offenbar können diese Werthe weder Reiz- noch Erregungszuwüchse bedeuten und jene Entfernung von der Wirklichkeit einer Empfindung kann nur gemessen sein nach dem Werthe der positiven Empfindungsintensität, welche mit der vorhandenen negativen Empfindung von der Intensität $-\alpha \log 2$ oder $-\alpha \infty$ vereinigt gedacht den Nullwerth der Empfindung ergibt. Also auch dann, wenn man auf die Vorstellungsweise einzugehen versucht, dass die negativen Empfindungswerthe die Entfernung von der Wirklichkeit einer Empfindung darstellen, kommt man zu dem Resultate, dass die bestimmten Werthe der negativen Empfindungen, welche das psychophysische Gesetz Fechner's als zu bestimmten, den Schwellenwerth E_0 nicht erreichenden Erregungsintensitäten zugehörig ergibt, nur dann eine wirkliche Bedeutung haben können — und eine solche müssen sie nothwendig haben —, wenn man, wie es auch der Begriff des Positiven und Negativen nothwendig erfordert, voraussetzt, dass eine negative Empfindung ein solcher Seelenzustand sei, der mit einer gleich grossen positiven Empfindung vereinigt gedacht den Nullwerth der Empfindung ergibt.

§ 117.

Fassen wir nun kurz die Resultate der bisherigen Erörterungen dieses Abschnittes zusammen. Dass Fechner nicht im Mindesten berechtigt ist, in dem Parallelgesetze, der Beziehung zwischen Tonhöhe und Schwingungszahl, den Versuchen Fick's mit elektrischen Nervenreizen, ferner in den Erscheinungen der sinnlichen Aufmerksamkeit, dem Phänomen von Schlaf und Wachen u. dergl. Beweisgründe für seine Deutung des Weber'schen Gesetzes zu erblicken, haben wir in §§ 98, 100—104, 106 und 116 mit hinreichender Ausführlichkeit gezeigt. Ausser diesen ganz unstichhaltigen Beweisgründen macht Fechner nur noch dies geltend, dass nach der wesentlichen Verschiedenheit zwischen physischem und psychischem Gebiete eine Abhängigkeit zwischen

psychischer und physischer Thätigkeit im Sinne der Maassformel sehr wohl denkbar sei, wogegen eine solche Abhängigkeit zwischen zwei körperlichen Thätigkeiten, wie sie einerseits durch die Reizwirkung, andererseits durch die psychophysische Thätigkeit repräsentirt werde, im Sinne der physikalischen und physiologischen Gesetze nicht denkbar sei. Diese Behauptung Fechner's stellt nun vollends die Sachlage geradezu auf den Kopf. Wie wir im 2. Capitel dieses Abschnittes gesehen haben, enthält die corrigirte Maassformel durchaus nichts, was die Möglichkeit ausschliesse, dass die Sinnesnervenerregung im Sinne dieser Formel von dem äusseren Reize abhängt; was insbesondere die aus der Maassformel folgende Reizschwelle betrifft, so ist dieselbe erstens keine ganz sicher constatirte Thatsache, zweitens von der physiologischen Auffassung auf doppeltem Wege leicht erklärbar und drittens durch keinen näheren, eine physiologische Deutung der Reizschwelle ausschliessenden Zusammenhang mit der Unterschiedschwelle verknüpft. Wie wir ferner im 3. Capitel gezeigt haben, muss die Fechner'sche Auffassung, um den Thatsachen des Weber'schen Gesetzes vollständig gerecht zu werden, die Gültigkeit der Formel: $E = (p(r))^p$, wo p eine je nach der Reizqualität verschiedene Constante bedeutet, voraussetzen und mithin die Sinnesnervenerregung als eine Function des äusseren Reizes betrachten, welche durchaus nicht einfacher und wahrscheinlicher ist als die innerhalb gewisser Grenzen annähernd logarithmische Function der Reizstärke, welche die Sinnesnervenerregung nach der physiologischen Auffassung darstellt. Das functionelle Verhältniss endlich, in welchem nach der Fechner'schen Auffassung die Empfindungsintensität zur psychophysischen Thätigkeit steht, ist nicht im Mindesten ein „sehr wohl denkbare“, sondern vielmehr — auch wenn man von den negativen Empfindungswerthen, welche dasselbe ergiebt, ganz absieht — ein sehr wenig einleuchtendes und unwahrscheinliches, das nicht einmal mit der von Fechner selbst vertretenen Ansicht in Uebereinstimmung steht, nach welcher Physisches und Psychisches nur zwei Erscheinungsweisen eines und desselben Wesens sind und demgemäss zweifelsohne einander proportional gehen müssen, und nach welcher vollends der Fall ganz undenkbar ist, dass psychophysische Thätigkeit vorhanden sei, ohne entsprechende geistige Thätigkeit mit sich zu führen. Hingegen steht nach der physiologischen Auffassung die Empfindungsintensität in demjenigen Verhältnisse zur psycho-

physischen Thätigkeit, welches vom Standpunkte aller Auffassungen des Zusammenhanges von Leib und Seele aus das wahrscheinlichste, einfachste und natürlichste der hierfür denkbaren Verhältnisse ist, und dessen Annahme ohne Zweifel zunächst festzuhalten und nur in dem Falle, dass sich unwiderlegbare Einwände dagegen erheben, aufzugeben ist. Zu diesem Vorzuge der physiologischen Auffassung kommt noch der Umstand hinzu, dass diese Auffassung, wie im 8. Capitel gesehen, allein eine befriedigende Erklärung der Proportionalität des Präcisionsmaasses und der absoluten Unterschiedsempfindlichkeit zu bieten vermag.

Wir haben im Vorstehenden von den negativen Empfindungswerthen, welche Fechner's psychophysisches Gesetz ergibt, ganz abgesehen, weil sich dasselbe in der Weise modificiren lässt, dass man für alle Werthe der psychophysischen Thätigkeit, welche kleiner als der Erregungsschwellenwerth sind, den Nullwerth der Empfindung erhält. Fasst man jedoch das psychophysische Gesetz, wie es zur Zeit von Fechner formulirt vorliegt, in's Auge, so ist dasselbe wegen der negativen Empfindungen, die aus ihm folgen, nicht bloss für sehr unwahrscheinlich, sondern sogar für absurd zu erklären. Negative Empfindungen müssen sich so zu positiven Empfindungen verhalten, wie sich überhaupt negative Grössen zu positiven Grössen verhalten*): eine negative Empfindung muss den Nullpunkt der Empfindung ergeben, wenn man sie mit einer positiven Empfindung, die ihrem absoluten Werthe nach gleich gross ist, vereinigt denkt. Die Erfahrung giebt aber auch nicht den geringsten Anhalt zur Annahme derartiger negativer Seelenzustände, von denen sich auch nicht im Mindesten angeben lässt, wie man sich ihren von der Art der positiven Empfindungsintensitäten wesentlich verschiedenen Charakter denken solle. Die psychophysische Deutung des Weber'schen Gesetzes, wenn dieselbe überhaupt aufrecht erhalten wird, dürfte daher nicht umhin können, an Stelle des bisherigen Fechner'schen Gesetzes: $s = x \log E$, wo der Erregungsschwellenwerth E_0 die Ein-

*) Dass man unter negativen Empfindungen nicht solche Empfindungen verstehen darf, welche, wie z. B. die Kälteempfindungen zu den Wärmeempfindungen, wegen der Verschiedenheit der Sinnesreize, der Folgen und associirten Umstände in gewissem Gegensatze zu anderen Empfindungen stehen, hat schon Fechner (Ps. II, S. 41 f.) hinreichend dargethan.

heit der Erregungsintensitäten bildet, die Formel:

$$s = \frac{2 \kappa \log E}{\pi} \int_0^{\infty} \frac{\sin x \cdot \cos \frac{x}{E} \cdot dx}{x}$$

aufzustellen, welche für alle Werthe von E , die > 1 sind, ganz dieselben Werthe von s ergibt wie Fechner's psychophysisches Gesetz, hingegen für diejenigen Werthe von E , welche < 1 sind, ebenso wie für den Werth $E = 1$ keine negativen Empfindungsgrössen, sondern nur den Nullpunkt der Empfindung ergibt (vergl. G. F. Meyer, Vorlesungen über die Theorie der bestimmten Integrale etc. S. 565 f.).

10. Capitel.

Bernstein's Auffassung des Weber'schen Gesetzes.

§ 118.

Bisher haben wir uns darauf beschränkt, der Fechner'schen Deutung des Weber'schen Gesetzes diejenige Ansicht gegenüberzustellen, nach welcher die Sinnesnervenerregung dem Logarithmus der äusseren Reizstärke innerhalb gewisser Grenzen annähernd proportional geht, mag nun letzteres Abhängigkeitsverhältniss auf diese oder jene Weise erst durch einen gewissen Zwischenvorgang (vergl. S. 232) vermittelt werden oder auch ohne einen solchen zu Stande kommen. Wir sind jedoch keineswegs der Meinung, dass hiermit die Zahl derjenigen Auffassungen des Weber'schen Gesetzes erschöpft sei, welche auf der Voraussetzung fassen, dass gleich merkliche Intensitätszuwüchse, die zu Empfindungen gleicher Qualität hinzukommen und bei einem und demselben Versuchsverfahren erhalten werden, allgemein auch gleich grosse Empfindungszuwüchse seien, und demgemäss nach § 85 mit der Ableitung der corrigirten Maassformel völlig einverstanden sind. So ist z. B., wie schon auf S. 232 angedeutet, auch eine Ansicht denkbar, nach welcher zwar die Erregung des Sinnesnerven dem äusseren Reize annähernd proportional geht, aber die psychophysische Thätigkeit des Sensoriums, etwa in Folge centraler Hemmungen innerhalb gewisser Grenzen nur wie

der Logarithmus der Sinnesnerven-erregung wächst; ferner sind selbstverständlich auch noch zahlreiche Vermuthungen denkbar, nach denen die Empfindungsintensität der psychophysischen Thätigkeit proportional geht, aber weder die letztere zur Erregung des Sinnesnerven noch diese zum äusseren Reizprocesse in einem annähernd logarithmischen Abhängigkeitsverhältnisse steht, vielmehr zwischen dem ersten und zweiten, zweiten und dritten dieser Vorgänge andere, mehr oder weniger complicirte Verhältnisse bestehen, aus deren Zusammenwirken erst ein annähernd logarithmisches Verhältniss zwischen psychophysischer Thätigkeit und äusserem Sinnesreize entspringt. Indessen Vermuthungen dieser Art sind zwar denkbar, aber zur Zeit sehr unwahrscheinlich, mindestens weniger wahrscheinlich als die im Bisherigen vertretene physiologische Deutung des Weber'schen Gesetzes, und auch bisher fast von Niemandem*) geltend gemacht worden. Wir gehen daher auf diese und andere ähnliche denkbare Deutungen des Weber'schen Gesetzes gar nicht weiter ein und wenden uns sofort zur Darstellung der originellen Deutung, welche Bernstein (a. a. O. S. 170 ff., Reichert's Arch. von 1868, S. 388 ff.) dem Weber'schen Gesetze zu geben versucht hat. Bernstein führt zunächst näher aus, was wir bereits auf S. 241 f. geltend gemacht haben, dass nämlich die Nerven-erregung beim Durchgange durch die Ganglienzellen des Centralorganes höchstwahrscheinlich einen gewissen Widerstand zu überwinden hat, in Folge dessen sie einen Verlust ihrer Intensität erleidet. Ist durch einen Sinnesreiz in einer Nerven-aser eine Erregung hervorgerufen, so pflanzt sich dieselbe nach Bernstein's Ansicht innerhalb der Nerven-aser mit gleich bleibender Intensität fort, bis sie eine Ganglienzelle des Centralorganes trifft. Auf diese geht sie in Folge eines gewissen zu überwindenden Widerstandes nur dann über, wenn sie einen gewissen Intensitätswerth, die Erregungsschwelle, übersteigt. Uebertrifft sie die letztere um ein Beträchtliches,

*) Nur Mach vertritt, wie auf S. 307 f. gesehen, eine Auffassung des Weber'schen Gesetzes, nach welcher dasselbe sich hauptsächlich darauf gründet, dass die psychophysische Thätigkeit des Centralorganes langsamer wächst als die vom äusseren Reize zunächst hervorgerufene Erregung des Sinnesnerven. — Nicht als eine neue Deutung des Weber'schen Gesetzes, sondern nur als eine Verallgemeinerung der Fechner'schen Auffassung ist das von Wundt (Ph. Ps. S. 419) aufgestellte „allgemeine Gesetz der Beziehung“ zu betrachten.

so wird sie von der betreffenden Ganglienzelle aus nach benachbarten Ganglienzellen irradiiren und zwar sind, wie Bernstein wenigstens betreffs des Centrums des Hautsinnes voraussetzt, sämtliche Ganglienzellen, auf welche die Erregung einer mit einer Sinnesnervenfaser verknüpften Ganglienzelle ausstrahlen kann, in einer Fläche angeordnet, so dass sich die Erregung von ihrem Ausgangspunkte aus in wachsenden Kreisen auf einer Irradiationsfläche verbreitet. Bei ihrer Ausbreitung auf dieser Fläche nimmt jedoch die Erregung um so mehr ab, je weiter sie von dem Irradiationscentrum, jener Ganglienzelle, auf die sie zunächst überging, entfernt ist, und zwar aus doppeltem Grunde. Erstens deswegen, weil die lebendige Kraft der Erregung sich auf eine immer grösser werdende Anzahl von Ganglienzellen vertheilt. Wäre diese Vertheilung allein von Einfluss, so würde die Summe aller lebendigen Kräfte in jedem Ringe, den die Erregung vom Irradiationscentrum aus erreicht, constant sein. Es bewirkt jedoch zweitens auch noch jener Widerstand, welchen die Erregung beim Uebergange auf eine Ganglienzelle zu überwinden hat, eine Verminderung der Erregungsintensität, und zwar nimmt Bernstein an, dass der Verlust, welchen die Erregung beim Uebergange auf eine Nervenzelle erleidet, immer der vorhandenen Intensität der Erregung proportional sei. Aus diesen beiden Gründen verringert sich die Erregung bei ihrer Ausbreitung auf der Irradiationsfläche immer mehr, bis sie zuletzt den Werth der Erregungsschwelle nicht mehr besitzt und in Folge dessen nicht mehr im Stande ist, die Widerstände zu überwinden, die ihrer Fortpflanzung auf weitere Ganglienzellen der Irradiationsfläche entgegenstehen. Offenbar wird die Grösse des Irradiationskreises, über welchen sich die Erregung auf der Irradiationsfläche erstreckt, davon abhängen, mit welcher Intensität die vom Sinnesnerven aus hervorgerufene Erregung im Irradiationscentrum auftritt, und zwar findet sich nach Bernstein die Art dieser Abhängigkeit des Näheren auf folgende Weise.

In der Entfernung x vom Irradiationscentrum sei die Erregungsintensität gleich y ; alsdann ist die Summe der Erregungen aller Ganglienzellen, deren Entfernung vom Irradiationscentrum gleich x ist, gleich $y \cdot 2\pi x$. „Es kommt nun darauf an, zu wissen, wie gross der Verlust der Intensität innerhalb eines Ringes von der Breite dx ist. Dieser Verlust ist zu bezeichnen mit $2\pi x \cdot dy$ und er wird nach unserer Annahme sowohl der Intensität der Erregung selbst als auch der Masse der cen-

tralen Elemente proportional sein, welche von der Erregung durchströmt wird. Die letzte Grösse ist, wenn die Dichtigkeit (d. i. die Anzahl der Ganglienzellen in der Einheit der centralen Fläche) wie früher gleich α gesetzt wird, für das ringförmige Stück gleich $\alpha \cdot 2\pi x \cdot dx$ zu setzen. Wir haben daher die Gleichung:

$$2\pi x \cdot dy = -k \cdot y \cdot 2\pi x \cdot \alpha \cdot 2\pi x \cdot dx$$

$$\text{oder: } \frac{dy}{y} = -k \cdot \alpha \cdot 2\pi x \cdot dx.$$

Die Constante k bedeutet hier offenbar den specifischen Widerstand, den die centralen Elemente der Erregung entgensetzen. Sie ist gleich dem Verlust an Intensität, den die Einheit der Erregung in der Einheit der Fläche erleidet. Um diese Gleichung nun zu integrieren, müssen wir für die veränderlichen Grössen die entsprechenden Grenzen einführen.^a Bezeichnen wir diejenige Intensität, welche die Erregung des Irradiationscentrums besitzt, mit β und diejenige, welche die Erregung der Peripherie des Irradiationskreises besitzt, mit b , „so ist für $y = \beta$, $x = 0$ und für $y = b$ ist $x = r$, womit wir den Radius des Irradiationskreises bezeichnet haben. Also haben wir die Gleichung:

$$\int_b^\beta \frac{dy}{y} = -k \cdot \alpha \cdot 2\pi \int_0^r x \, dx,$$

aus der sich ergibt:

$$\log. \text{nat. } \frac{\beta}{b} = k \alpha r^2 \pi.$$

Das Product $\alpha r^2 \pi$ stellt die Anzahl n der Ganglienzellen dar, welche den Irradiationskreis erfüllen. Nach vorstehender Formel ist daher $n = \frac{1}{k} \log. \text{nat. } \frac{\beta}{b}$, wo Bernstein nicht mit vollem Rechte die Grösse $b^*)$ allgemein der Erregungsschwelle gleich setzt. Bernstein setzt nun weiter voraus, dass die Empfindungsintensität der Anzahl der in Erregung versetzten Ganglienzellen proportional gehe, nimmt an, dass die Erregungen β und b den entsprechenden Reizstärken r und ϱ annähernd proportional seien, und glaubt so zu einer plausiblen Erklärung der Maassformel zu gelangen.**)

*) Diese Grösse ist den sonstigen Voraussetzungen Bernstein's gemäss nur in Ausnahmefällen der Erregungsschwelle gleich, in der Mehrzahl der Fälle kleiner als dieselbe. — **) Zu demselben Resultate, zu welchem Bernstein nach Obigem auf Grund der Voraussetzung gelangt, dass sich die Erregung im Centralorgane in einer Fläche verbreite, würde

Indessen die Annahme, dass die Empfindungsintensität lediglich von der Anzahl der in Erregung versetzten Ganglienzellen abhängt, muss äusserst bedenklich erscheinen. Denn wenn es für das Eintreten einer Empfindung nothwendige Bedingung ist, dass eine oder mehrere Ganglienzellen in Erregung gerathen, so können doch die Intensitätsgrade der Erregungen dieser Nervenorgane für die eintretende Empfindung nicht ganz gleichgültig sein. Die Möglichkeit dieses Einwandes scheint Bernstein nicht entgangen zu sein. Er behauptet daher (a. a. O. S. 202), dass der Erregungsvorgang, welcher vom äusseren Reize im Sinnesnerven hervorgerufen werde und von diesem aus auf die Ganglienzellen des Centralorganes übergehe, nicht derjenige Vorgang sei, welcher unseren Empfindungen unmittelbar zu Grunde liege. Würde die Erregung die Ganglienzelle passiren, wie sie die Nervenfasern passirt, ohne an Intensität einzubüssen, so würde nach Bernstein's Ansicht gar keine Empfindung zu Stande kommen. Erst durch jenen Widerstand, welchen die Erregung in der Ganglienzelle erfährt, kommt nach Bernstein die Empfindung zu Stande. Indem bei der Ausbreitung der Erregung in dem betreffenden Centralorgane „in jedem centralen Elemente die Erregung nach einem bestimmten Gesetze abnimmt, verschwindet ein Theil derselben und dient dazu, um als auslösende Kraft Spannkraften in diejenigen Kräfte umzusetzen, aus denen die Empfindung besteht; und wenn in jedem centralen Elemente gleich grosse Spannkraften frei werden, so wird die Summe der freigewordenen Spannkraften der Anzahl der erregten centralen Elemente proportional sein, — eine Vorstellung, aus der sich das psychophysische Gesetz ergibt.“ Nach der Ansicht Bernstein's dient also der durch den Sinnesreiz zunächst hervorgerufene Erregungsprocess dazu, in den centralen Ganglienzellen unter fortwährenden Verlusten seiner Intensität psychophysische Thätigkeit auszu-

er übrigens auch dann gelangt sein, wenn er die Ausbreitung der Erregung des betreffenden Centralorganes in einer Linie oder innerhalb einer Kugelschale hätte stattfinden lassen. — Ein Mangel der obigen Formel Bernstein's: $n = \frac{1}{k} \log. \text{nat.} \frac{\beta}{b}$, liegt darin, dass nach derselben die Anzahl der in Erregung versetzten Ganglienzellen gleich 0 oder gar negativ ist, wenn sich die das Irradiationscentrum bildende Ganglienzelle, deren Erregung mit β bezeichnet ist, thatsächlich in einem Erregungs-

lösen, Je intensiver jener Erregungsprocess ist, wenn er eine Ganglienzelle trifft, desto mehr verliert er nach Bernstein's Voraussetzung dadurch, dass er in derselben psychophysische Thätigkeit hervorruft, von seiner Intensität, und dennoch soll in jeder Ganglienzelle, auf welche der Erregungsprocess übergeht, immer ganz dasselbe Quantum psychophysischer Thätigkeit ausgelöst werden.*) Diese Annahme will uns ganz unhaltbar erscheinen. Wo soll denn das Quantum lebendiger Kraft, welches der Erregungsprocess dann, wenn er eine grössere Intensität besitzt, beim Durchgange durch eine Ganglienzelle mehr verliert als dann, wenn er weniger intensiv ist, hinkommen, wenn es nicht eben dazu dient, ein grösseres Quantum psychophysischer Thätigkeit auszulösen? Bernstein behauptet (a. a. O. S. 177), das Wesen der Empfindung sei in der Eigenschaft der Ganglienzelle, lebendige Kraft des Erregungsprocesses zu vernichten, enthalten. Ist es alsdann nicht unbedingt nothwendig, zu folgern, dass der Empfindungsbeitrag, den eine Ganglienzelle liefere, um so grösser sei, je mehr von der lebendigen Kraft des Erregungsprocesses in ihr vernichtet werde, d. h. dazu diene, gewisse Spannkraft in die lebendige Kraft psychophysischer Thätigkeit zu verwandeln? Zieht man aber diese Schlussfolgerung, so fällt die Voraussetzung, dass die Empfindungsintensität der Anzahl der in Erregung versetzten Ganglienzellen proportional zu setzen sei, und hiermit die ganze Bernstein'sche Deutung des Weber'schen Gesetzes zu Boden.

Bei dieser Sachlage haben wir nicht nothwendig, noch näher darauf einzugehen, wie gewagt zum Theil die übrigen Voraussetzungen sind, die Bernstein insbesondere betreffs der Functionsweise, Lagerung und Verbindung der Ganglienzellen der Centralorgane macht. Nur auf einen Punkt noch wollen wir kurz aufmerksam machen: Nach Bernstein wächst die Empfindungs-

zustande befindet, wenn auch nur in einem solchen, dessen Intensität gleich b , bez. $< b$ ist.

*) Zu erwähnen ist, dass Bernstein (a. a. O. S. 181 ff.) bei seinem sehr beachtenswerthen Versuche, die Entstehung der Empfindungskreise der Haut zu erklären, fortwährend selbst voraussetzt, dass die Empfindungsintensität, welche von einer Ganglienzelle des centralen Irradiationskreises herrühre, um so grösser sei, je intensiver der Erregungsprocess in der betreffenden Ganglienzelle sei. Nimmt man an, dass der Erregungsprocess nur dazu diene, in jeder Ganglienzelle des Irradiationskreises ein

intensität mit der Anzahl der Ganglienzellen, über welche sich die Nervenerrregung verbreitet. Hiernach wäre zu erwarten, dass, wenn die Erregung einer Sinnesnervenfaser sehr intensiv ist und zahlreiche Ganglienzellen ergreift, diese weite Ausbreitung der Nervenerrregung sich für unser Bewusstsein lediglich in der Höhe der Empfindungsintensität bemerkbar mache. Dies ist aber keineswegs der Fall. Wird ein Punkt eines Fingers schmerzhaft gereizt, so kann der Schmerz, wie Bernstein selbst bemerkt, falls der Reiz sehr stark ist, den ganzen Finger, die ganze Hand, ja selbst den ganzen Arm ergreifen. Es wird also der Reiz bei fortgesetzter Steigerung nicht bloss als ein intensiverer, sondern auch als ein räumlich weiter ausgebreiteter empfunden. Dieses Wachsthum der scheinbaren Ausdehnung des Reizes ist offenbar eine Folge der centralen Irradiation der Nervenerrregung; daher kann das Wachsthum der Empfindungsintensität nicht auch noch von dieser Irradiation abhängig sein, sondern muss vielmehr unmittelbar in dem Wachsthum der Intensität des Erregungsprocesses seinen Grund haben.

§ 119.

Neuerdings hat auch Ward (a. a. O. S. 460 ff.) die Bernstein'sche Deutung der Maassformel vertreten. Derselbe macht als einen besonderen Vorzug derselben geltend, dass sie die Thatsache der Unterschiedsschwelle in einfacher Weise erkläre und zwar in ganz derselben Weise wie die Thatsache der Reizschwelle. Nimmt man an, dass sich die Nervenerrregung nicht in einer Irradiationsfläche, sondern nur in einer Irradiationslinie, nur in einer Reihe hinter einander liegender Ganglienzellen weiter verbreite, so hat die Unterschiedsschwelle nach Ward ihren Grund einfach darin, dass die Nervenerrregung, um sich auf eine neue Ganglienzelle fortpflanzen zu können, immer um einen gewissen endlichen Werth, die Erregungsschwelle, wachsen muss. Es sei also ein Sinnesreiz gegeben, dessen Intensität gleich r sei, und die letzte der von der Erregung ergriffenen Ganglienzellen befinde sich in einem Erregungszustande von nur ganz minimaler Intensität. Alsdann wird die Erregung dieser Ganglienzelle um ein gewisses Intensitätsquantum, das wir mit δ bezeichnen

constantes Quantum psychophysischer Thätigkeit auszulösen, so steht jene Bernstein'sche Erklärung der Empfindungskreise ganz in der Luft.

wollen, zunehmen und demgemäss der Reiz r einen bestimmten Zuwuchs d erhalten müssen, wenn eine neue Ganglienzelle in eine Erregung von ganz minimaler Intensität gerathen und die vorhandene Empfindung einen Zuwuchs ds erhalten soll. Nehmen wir nun aber an, der gegebene Reiz sei nicht gleich r , sondern sei auf einen Werth erhöht, der zwischen r und $r + d$ liege, aber sich mehr der Intensität $r + d$ nähere, alsdann wird der Zuwuchs, welcher zu der Erregung jener Ganglienzelle hinzukommen muss, um eine neue Ganglienzelle zu erregen und einen Empfindungszuwuchs ds zu bewirken, ganz bedeutend geringer sein als δ ; das Entsprechende gilt von dem Reizzuwuchse, der erforderlich ist, den Empfindungszuwuchs ds zu bewirken. Man sieht hinlänglich: nach Ward muss die Grösse des Unterschiedsschwellenwerthes für Reize, deren Intensitäten nur sehr wenig differiren, ganz beträchtlich verschieden sein; derselbe muss bei wachsender absoluter Reizstärke abwechselnd gross und ganz klein werden; was aber in Wirklichkeit durchaus nicht der Fall ist. Setzt man nun vollends voraus, dass sich die Nervenerregung im Centralorgane nicht in einer Linie, sondern in einer Fläche verbreite, so muss man noch ausserdem annehmen, dass jedem eben merklichen Reizzuwuchse ein neuer Ring erregter Ganglienzellen, mithin nach Bernstein's Theorie ein um so grösserer Empfindungszuwuchs entspreche, je grösser der vorhandene Reiz und der davon abhängige Radius des Irradiationskreises bereits sei. Da nun aber die Maassformel, deren annähernde Gültigkeit Bernstein's Theorie zu erklären versucht, auf der Voraussetzung fusst, dass der dem Unterschiedsschwellenwerthe entsprechende, eben merkliche Empfindungszuwuchs eine constante Grösse besitze, so führt nach Ward's Deutung der Unterschiedsschwelle die Theorie Bernstein's zu Consequenzen, die ihrer eigenen Fundamentalvoraussetzung widersprechen. Anstatt also in dem discontinuirlichen Wachsthum der Empfindung, welches Bernstein's Theorie ergiebt, einen Vorzug letzterer zu finden, können wir darin nur einen Mangel, nur eine der Erfahrung widersprechende Consequenz der Bernstein'schen Deutung des Weber'schen Gesetzes erblicken.

11. Capitel.

Die Wahrscheinlichkeit der corrigirten Maassformel.

§ 120.

Das Princip, nach welchem wir bei Ableitung der corrigirten Maassformel verfahren sind, und welches selbstverständlich auch dann Anwendung finden kann, wenn für diejenigen Empfindungsgebiete, für welche das Weber'sche Gesetz auch nicht die mindeste Gültigkeit besitzt, die Art des zwischen Empfindung und Reizstärke bestehenden functionellen Verhältnisses näher bestimmt werden soll, ist im Wesentlichen das folgende. Man sucht mit Hülfe einer der psychophysischen Maassmethoden das Gesetz zu ermitteln, nach welchem sich die Differenz oder das Verhältniss zweier Reizstärken, deren Unterschied in constantem Maasse merklich, z. B. eben merklich ist, mit der absoluten Intensität des schwächeren (oder auch des stärkeren) beider Reize ändert. Aus dem hierbei erhaltenen Resultate leitet man dann mit Hülfe der Voraussetzung, dass Intensitätszuwüchse, welche bei unverändert gehaltenem Versuchsverfahren zu Empfindungen gleicher Qualität hinzukommen und gleich merklichen Reizzuwüchsen entsprechen, gleich grosse Empfindungszuwüchse seien, auf diese oder jene Weise die Formel ab, nach welcher die Empfindung von der Stärke des Sinnesreizes abhängt. Es erhebt sich nun die äusserst wichtige Frage, inwieweit eigentlich die soeben angeführte Voraussetzung der gleichen Grösse gleich merklicher Empfindungszuwüchse eine wirklich erwiesene oder erweisbare sei. Sämmtliche Auffassungen des Weber'schen Gesetzes, welche die Richtigkeit der corrigirten Maassformel annehmen, vor Allem auch Fechner's Auffassung, fussen auf dieser Voraussetzung, und dennoch hat man bisher kaum den Versuch gemacht, dieselbe zu rechtfertigen. Wohl aber liegen einige Versuche vor, diese Voraussetzung als eine unrichtige darzuthun. Auf diese Versuche und überhaupt auf die Frage, inwieweit jene Voraussetzung eine erweisbare sei, gehen wir im Folgenden kurz ein.

Zunächst ist klar, dass neben den im Bisherigen erörterten Deutungen des Weber'schen Gesetzes auch noch eine ganz andere, psychologische Deutung denkbar ist, nach welcher

zwei Empfindungsintensitäten, um uns mit constanter Merklichkeit verschieden zu erscheinen, nicht eine constante Differenz zeigen, sondern vielmehr in einem constanten Verhältnisse zu einander stehen müssen. Bezeichnen wir mit ds , bez. dr , den eben merklichen Zuwachs zur Empfindung s , bez. zur Reizstärke r , so ist nach dieser psychologischen Auffassung das Verhältniss $\frac{ds}{s}$ allgemein ein constantes und innerhalb derjenigen Grenzen,

innerhalb deren das Verhältniss $\frac{dr}{r}$ seinen Minimalwerth ω erreicht und dem Weber'schen Gesetze gemäss als constant betrachtet werden kann, $= \frac{p \cdot dr}{r}$ zu setzen, wo p eine Constante bedeutet. Um die thatsächlichen Abweichungen vom Weber'schen Gesetze mit zu berücksichtigen, haben wir nach S. 251 nicht schlechthin $\frac{dr}{r}$, sondern vielmehr $\frac{\varphi'(r) \cdot dr}{\varphi(r)} = \omega$ zu setzen. Hieraus ergibt sich, da nach Obigem $\frac{ds}{s} = p \cdot \omega$ ist,

$$\frac{ds}{s} = \frac{p \cdot \varphi'(r) \cdot dr}{\varphi(r)}.$$

Diese Gleichung lässt sich leicht aus der Formel: $s = \kappa(\varphi(r))^p$, ableiten; denn aus dieser Formel folgt, dass

$$s + ds = \kappa(\varphi(r + dr))^p$$

oder, bei Vernachlässigung der höheren Potenzen von dr ,

$$s + ds = \kappa \cdot (\varphi(r))^p + \kappa \cdot p \cdot (\varphi(r))^{p-1} \cdot \varphi'(r) \cdot dr,$$

mithin $\frac{ds}{s} = \frac{p \cdot \varphi'(r) \cdot dr}{\varphi(r)}$ ist.

Es ist also nach der psychologischen Auffassung allgemein $s = \kappa(\varphi(r))^p$, wo $\varphi(r)$ die auf S. 229 ff. im Allgemeinen charakterisirte Function von r bedeutet. Die Gültigkeit vorstehender Formel würde man zweifelsohne so zu deuten haben, dass man zwischen Empfindung und Nervenirregung Proportionalität annimmt, also $s = \kappa E$ und $E = (\varphi(r))^p$ setzt. Was die Constante p der letzteren Gleichung betrifft, so wird man zunächst geneigt sein, dieselbe $= 1$ zu setzen, um eine möglichst einfache Formel für die Beziehung zwischen E und r zu erhalten. Indessen auch für die psychologische Deutung des Weber'schen Gesetzes erhebt sich die Frage, wie die thatsächlich bestehende Abhängigkeit

der Unterschiedsempfindlichkeit von der Empfindungsqualität zu erklären sei. Zur Beantwortung dieser Frage scheint die psychologische Auffassung annehmen zu können, dass das constante Verhältniss, in welchem der eben merkliche Empfindungszuwuchs ds zur vorhandenen Empfindung s stehe, sich je nach der Qualität der Empfindungen ändere und zwar so, dass in der obigen Gleichung: $\frac{ds}{s} = p \cdot \omega$, die Constante p von der Reizqualität ganz unabhängig, etwa immer $= 1$, sei, hingegen das Verhältniss $\frac{ds}{s}$ dem Werthe ω , dem mit der Reizqualität veränderlichen Minimalwerthe des eben merklichen relativen Reizunterschiedes proportional gehe. Allein, wenn das Verhältniss $\frac{ds}{s}$ sich mit der Empfindungsqualität änderte, so müsste dies zweifelsohne mit einer gewissen Gesetzmässigkeit und bei allen Individuen in gleicher Weise geschehen, es müsste mithin die Abhängigkeit der Unterschiedsempfindlichkeit von der Empfindungsqualität eine gewisse Gesetzmässigkeit zeigen und für alle Individuen dieselbe sein; was beides thatsächlich nicht der Fall ist. *) Ferner ist ja die Unterschiedsempfindlichkeit nicht bloss von der Reizqualität, sondern auch von der Oertlichkeit der Reizeinwirkung abhängig; und während sich die Qualität einer Gesichtsempfindung mit der Oertlichkeit der gereizten Netzhautstelle kaum merklich verändert, ändert sich die Unterschiedsempfindlichkeit mit der letzteren in so bedeutendem Maasse, dass gar nicht daran gedacht werden kann, die Abhängigkeit der Unterschiedsempfindlichkeit von der Reizungsstelle darauf zurückzuführen, dass sich das Verhältniss $\frac{ds}{s}$ je nach der Qualität der Empfindungen ändere. Dieselben Thatsachen endlich, die wir in § 96 angeführt haben, und die nothwendig darauf hinweisen, dass die Abhängigkeit der Unterschiedsempfindlichkeit von der Qualität und Oertlichkeit der Reizeinwirkung im Wesentlichen physiologisch bedingt sei, machen sich auch hier geltend. Es

*) Man vergl. S. 257 ff. Was wir dort betreffs der absoluten Grösse des eben merklichen Empfindungszuwuchses ds geltend machen, gilt für die psychologische Auffassung betreffs des Verhältnisses $\frac{ds}{s}$.

hat also auch für die psychologische Auffassung die Abhängigkeit der Unterschiedsempfindlichkeit von der Reizqualität und Reizungsstelle im Wesentlichen in physiologischen Verhältnissen ihren Grund, daher muss diese Auffassung annehmen, dass in der Gleichung: $\frac{ds}{s} = p \cdot \omega$, das Verhältniss $\frac{ds}{s}$ bei vergleichbar gehaltenem Versuchsverfahren für alle Reizarten und Reizungsstellen eines und desselben Sinnesgebietes im Wesentlichen den gleichen Werth besitze, hingegen die Grösse p sich reciprok zu dem mit der Qualität und Oertlichkeit der Reizeinwirkung veränderlichen Werthe ω verhalte. Die psychologische Auffassung kommt also betreffs der Abhängigkeit der Nervenenerregung von der Stärke des Sinnesreizes ebenso wie die psychophysische Auffassung (vergl. S. 254 ff.) zu dem Resultate, dass $E = (\varphi(r))^p$ zu setzen sei, wo die Constante p je nach der Reizqualität und Reizungsstelle verschiedene Werthe besitze.

§ 121.

Der Erste, welcher die im Vorstehenden näher ausgeführte psychologische Deutung des Weber'schen Gesetzes geltend gemacht hat, ist Plateau (vergl. S. 90 f.), welcher in seiner Abhandlung „Sur la mesure des sensations physiques“ aus dem Umstande, dass Helligkeitsunterschiede gegebener Lichtflächen bei Aenderung der Beleuchtungsstärke innerhalb gewisser Grenzen dieselbe Merkhlichkeit behalten, darauf schliesst, dass das Verhältniss zweier Empfindungsintensitäten, welche zwei verschiedenen hellen Lichtflächen entsprechen, von dem Grade der gemeinsamen Beleuchtung beider Flächen unabhängig sei, und mithin eine Formel: $s = \kappa r^p$, Gültigkeit besitze. *) Indessen ist zu bemerken, dass Plateau in derselben Abhandlung dafür hält, dass, wenn man das mit reinem Weiss und reinem Schwarz in gleichem Maasse contrastirende Grau und dann noch diejenigen zwei Helligkeiten herstelle, welche mit diesem mittelhellen Grau und dem reinen Schwarz, bez. mit dem mittelhellen Grau und dem reinen

*) Plateau liess diese Formel späterhin ganz fallen, in Hinblick auf die von Delboeuf constatirten Abweichungen vom Weber'schen Gesetze. Von seinem Standpunkte aus hätte er aber bloss $s = \kappa(\varphi(r))^p$ zu setzen brauchen, um diesen Abweichungen gerecht zu werden.

Weiss, gleich merklich contrastiren, man alsdann eine Skala von Lichtempfindungen erhalte, deren Intensitäten sich wie 0, 1, 2, 3, 4 zu einander verhielten. Plateau setzt hierbei offenbar voraus, dass die Empfindung des Schwarz die Intensität 0 besitze, und dass gleich merkliche Empfindungsunterschiede auch gleich grosse Unterschiede seien. Er betrachtet also thatsächlich die gleiche Merklichkeit gegebener Empfindungsunterschiede das eine Mal als ein Kennzeichen gleicher relativer, das andere Mal hingegen als ein Kennzeichen gleicher absoluter Grösse derselben; was zugleich hinlänglich darthut, wie wenig uns die innere Beobachtung Aufschluss über die in diesem Capitel in Rede stehende Frage giebt.

Einen Beweis dafür, dass gleiche Merklichkeit der Intensitätsunterschiede gegebener Empfindungen an gleiche relative Grösse dieser Unterschiede gebunden sei, glaubt Brentano (Psychologie vom empirischen Standpunkte, S. 88 f.) führen zu können. Er macht geltend, dass es sich auch bei anderen Veränderungen der Phänomene in entsprechender Weise verhalte. „So ist z. B.“, führt er an, „die Zunahme eines Zolles um eine Linie ungleich merklicher als die Zunahme eines Fusses um dieselbe Grösse, wenn man nicht etwa beim Vergleiche beide Strecken auf einander legt. . . . In anderen Fällen dagegen findet die Vergleichung vermöge des Gedächtnisses statt, das die Erscheinungen um so leichter mit einander verwechselt, je mehr sie einander ähnlich sind. Leichter-Verwechseln besagt aber nichts Anderes als schwerer-Unterscheiden, d. h. den Unterschied der einen von der anderen weniger leicht bemerken. Nun ist offenbar der um eine Linie verlängerte Fuss dem Fuss ähnlicher, als der um eine Linie verlängerte Zoll dem Zoll, und nur bei einem verhältnissmässig gleichen Zuwachs des Fusses, also bei einem Zoll Zuwachs, würde die spätere der früheren Erscheinung in demselben Grade unähnlich, nur dann also der Unterschied zwischen beiden gleich merklich sein. Ganz dasselbe muss aber jederzeit bei der Vergleichung zweier auf einander folgender Erscheinungen statthaben, die, im Uebrigen gleich, der Intensität nach von einander verschieden sind. Das Gedächtniss vermittelt ja auch hier. Nur wenn die beiden Erscheinungen in gleichem Grade einander unähnlich sind, wird also ihre Verschiedenheit in gleicher Weise auffallen. Mit anderen Worten: Ihr Unterschied wird nur dann gleich merklich sein, wenn das Verhältniss des Zuwachses zu

der zuvor gegebenen Intensität dasselbe ist.“ Zunächst ist zu bemerken, dass Brentano ganz übersieht, dass die Resultate der Augenmaassversuche Weber's u. A. einfach die annähernde Gültigkeit des Weber'schen Gesetzes für die Muskelempfindungen der Augenmuskeln bedeuten. *) Wenn also Brentano bemerkt, nähere Untersuchung führe zu dem Resultate, dass gleiche Mercklichkeit eines Empfindungszuwuchses ein Kennzeichen gleicher relativer Grösse desselben sei, denn dieses Gesetz gelte auch bei anderen Veränderungen der Phänomene, und behufs Begründung dieser Behauptung anführt, dass die Zunahme eines Zolles um eine Linie ungleich merklicher als die Zunahme eines Fusses um dieselbe Grösse sei, so führt er als Bestätigung seiner psychologischen Deutung des Weber'schen Gesetzes eine einfache Thatsache dieses Gesetzes an, und wir wissen nicht, wo da die Beweiskraft stecken soll. Brentano glaubt ferner, die Richtigkeit der psychologischen Auffassung in der Weise darthun zu können, dass er allgemein behauptet, der Unterschied zweier gegebener Empfindungen sei nur dann in gleichem Grade merklich wie der Unterschied zweier anderer Empfindungen, wenn die beiden gegebenen Empfindungen in demselben Grade wie die beiden anderen Empfindungen einander unähnlich seien; nun seien zwei ihrer Intensität nach verschiedene Empfindungen einander in gleichem Grade unähnlich wie zwei andere Empfindungen, wenn das Verhält-

*) Könnten wir die Distanz zweier Punkte auf Grund der Verschiebungen, welche die Netzhautbilder bei der Bewegung des vom einen Punkte zum anderen übergehenden Auges erfahren, oder bei unbewegtem Auge lediglich nach dem Abstände der Netzhautbilder beider Punkte mit einiger Sicherheit schätzen und auf diesem Wege auch mehrere gegebene Distanzgrössen oder Linien mit einiger Genauigkeit vergleichen, so würden die Projectionsanomalien, die sich in Fällen von Augenmuskellähmung constatiren lassen, gar nicht vorkommen können. Auch der Umstand, dass das Weber'sche Gesetz zwar im Gebiete des Augenmaasses, nicht aber in dem des Tastmaasses Gültigkeit besitzt, und dass die relative Unterschiedsempfindlichkeit des Muskelsinnes der Arme ungefähr dieselbe ist wie diejenige des Augenmaasses, ferner die Thatsache, dass vertikale Distanzen für grösser gehalten werden als gleich grosse horizontale Distanzen, und andere ähnliche Erscheinungen weisen darauf hin, dass unser Augenmaass auf dem Muskelsinne der Augenmuskeln fusst. Man vergl. hierzu Wundt, Ph. Ps. S. 556 ff. u. A. m.

niss der beiden Empfindungsintensitäten im einen Falle so gross sei wie im anderen; folglich könne der Intensitätsunterschied zweier Empfindungen nur dann in gleichem Grade merklich sein wie der Unterschied zweier anderer Empfindungen, wenn das Verhältniss der beiden Empfindungsintensitäten im einen Falle dasselbe sei wie im anderen. In Hinblick auf den Obersatz dieser Argumentation erhebt sich zunächst die Frage, was es heisse: zwei Empfindungen sind einander in bestimmtem Maasse unähnlich. Wenn wir z. B. sagen: die Empfindung dieses Orange ist der Empfindung des Gelb in demselben Grade ähnlich oder unähnlich wie der Empfindung des Roth, oder: dieses Grau ist unseren Empfindungen nach vom Weiss ebenso weit entfernt wie vom Schwarz, so wollen wir damit offenbar nur sagen, dass wir beim Uebergange von der einen Empfindung zur anderen im einen Falle den Eindruck einer gleich grossen Verschiedenheit erhalten wie im anderen Falle, d. h. also, dass uns der Unterschied im einen Falle ebenso merklich sei wie im anderen. Ueber die absolute Grösse des Unterschiedes, der zwischen jenen Empfindungen des Orange und des Roth, des Orange und des Gelb oder des Grau und des Weiss, des Grau und des Schwarz besteht, können und wollen wir in diesen Urtheilen gar nichts aussagen; wäre dies übrigens der Fall, so würde zu bemerken sein, dass man bisher fast allgemein mit Fechner, Delboeuf u. A. angenommen hat, dass die Empfindung eines Grau, welches dem Schwarz ebenso ähnlich erscheint wie dem Weiss, von der Empfindung des Weiss um dasselbe absolute Intensitätsquantum übertroffen werde, um welches sie selbst die Empfindung des Schwarz übertrifft. Mithin lautet der Obersatz obiger Argumentation Brentano's im Grunde folgendermaassen: Der Unterschied zweier gegebener Empfindungen ist dann in gleichem Grade merklich wie der Unterschied zweier anderer Empfindungen, wenn die beiden gegebenen Empfindungen in demselben Grade wie die beiden anderen Empfindungen einander unähnlich sind, d. h., wenn sie einen gleich merklichen Unterschied darbieten wie die beiden anderen Empfindungen, oder kurz: gleich merklich verschiedene Empfindungen sind gleich merklich verschieden. Der Untersatz lautet nach dem Gesagten offenbar: zwei verschieden intensive Empfindungen sind dann in gleichem Grade unähnlich, d. h. mit gleicher Merklichkeit verschieden, wie zwei andere Empfindungen, wenn das Verhältniss der Empfindungsintensitäten

in beiden Fällen dasselbe ist. Dieser Untersatz ist offenbar mit dem Schlusssatz identisch und der eben erst zu beweisende Satz.

Da wir darüber, wie unser Vermögen der Beurtheilung zweier Empfindungen als mehr oder weniger verschiedener zu Stande komme, zur Zeit so gut wie nichts wissen, bisher auch nicht einmal der Versuch einer wirklich exacten Behandlung dieses Problemes vorliegt, so sind wir, wenigstens zur Zeit, nicht im Mindesten im Stande, auf rein theoretischem Wege etwas Sicheres darüber ausmachen zu können, ob gleiche Mercklichkeit gegebener Empfindungsunterschiede auf gleiche absolute oder gleiche relative Grösse derselben hinweise. Wenn Wundt (Ph. Ps. S. 295) Folgendes bemerkt: „Ein solcher eben merklicher Intensitätsunterschied ist wieder aus demselben Grunde, wie die eben merkliche Empfindungsintensität, ein psychischer Werth von constanter Grösse. Denn wäre ein eben merklicher Unterschied grösser oder kleiner als ein anderer, so wäre er grösser oder kleiner als eben merklich, was ein Widerspruch ist“, so ist dies, wie bereits Brentano (a. o. a. O. S. 9) bemerkt hat, einfach ein Zirkelschluss. Eine sichere Beantwortung der uns hier interessirenden Frage wird unseres Erachtens nur dann möglich sein, wenn durch physiologische Untersuchungen nachgewiesen ist, dass die Sinnesnervenerregung ganz im Sinne der von der physiologischen Auffassung aufgestellten Erregungsmaassformel von der Intensität des adäquaten Reizes abhängt. Alsdann wird man kein Bedenken mehr zu tragen haben, die corrigirte Maassformel und die derselben zu Grunde liegende Voraussetzung der gleichen Grösse gleich merklicher Empfindungsunterschiede für richtig anzuerkennen. Sollte sich hingegen an Stelle der Erregungsmaassformel die Gleichung: $E = (p(r))^p$, deren Bestehen sowohl die psychophysische als auch die psychologische Auffassung voraussetzen, als gültig herausstellen, so würden wir immer noch die Wahl zwischen diesen beiden Auffassungen haben und zweifelhaft sein müssen, ob das mit der ersteren oder das mit der zweiten dieser beiden Auffassungen in Einklang stehende psychophysische Maassprincip das richtige sei. Man erkennt hinlänglich, wie verfehlt es war, dass man bisher gerade die physiologische Auffassung, deren Sicherstellung allein uns die Richtigkeit eines bestimmten psychophysischen Maassprincipes verbürgen kann, so ganz bei Seite gesetzt hat, und weshalb wir uns so sehr bemüht haben, dieser Auffassung zu der ihr gebührenden Stellung zu verhelfen.

Ausser physiologischen Experimentaluntersuchungen vermag unseres Erachtens nur noch die Untersuchung eines Punktes uns Aufschluss über die Triftigkeit oder Untriftigkeit der psychologischen Auffassung zu geben, nämlich die Untersuchung des proportionalen Verhaltens des Präcisionsmaasses und der absoluten Unterschiedsempfindlichkeit. Will die psychologische Auffassung dieses Verhalten erklären, so muss sie, wie aus den Ausführungen auf S. 343 leicht zu erkennen, betreffs der Art der zufälligen Fehlervorgänge ganz dasselbe annehmen wie die psychophysische Auffassung, mit welcher sie hinsichtlich des functionellen Verhältnisses zwischen Nervenerrregung und Sinnesreiz vollkommen übereinstimmt, nämlich annehmen, dass die zufälligen Fehlervorgänge im Innern unseres Organismus stattfindende Vorgänge sind und solche, positive oder negative, Erregungszuwüchse zu der von aussen hervorgerufenen Nervenerrregung bewirken, deren Grössen der Intensität der vorhandenen Nervenerrregung proportional gehen. Diese Annahme besitzt jedoch, wie in § 113 gesehen, weniger Wahrscheinlichkeit als die entsprechende Annahme der physiologischen Auffassung, nach welcher jene Erregungszuwüchse von der vorhandenen Nervenerrregung ganz unabhängig sind. Ferner dürfte die Proportionalität des Präcisionsmaasses und der absoluten Unterschiedsempfindlichkeit doch schwerlich in Zufälligkeiten ihren Grund haben, vielmehr ein näherer Zusammenhang zwischen dem Gange, welchen das Präcisionsmaass, und demjenigen, welchen die Unterschiedsempfindlichkeit bei wachsender Reizintensität nimmt, bestehen. Ein solcher näherer Zusammenhang zwischen dem Verhalten der ersteren und demjenigen der zweiten dieser beiden Grössen besteht aber, wie aus § 114 hervorgeht, nur nach der physiologischen Auffassung und nicht nach der psychophysischen und psychologischen Auffassung, welche letztere jenes Verhalten der Unterschiedsempfindlichkeit durch die Annahme erklärt, dass Empfindungszuwüchse nur bei gleicher relativer Grösse gleich merklich seien, und zur Erklärung des ganz analogen Verhaltens des Präcisionsmaasses die obige, wenig wahrscheinliche Annahme betreffs der zufälligen Fehlervorgänge machen muss. Es besitzen daher zweifelsohne die physiologische Auffassung und das derselben zu Grunde liegende Maassprincip wenigstens den Vorzug vor der psychologischen Auffassung, dass sie allein nach dem gegenwärtigen Stande unseres Wissens eine befriedigende Er-

klärung der Proportionalität des Präcisionsmaasses und der absoluten Unterschiedsempfindlichkeit zu bieten scheinen. Allerdings ist dieser Umstand nicht von durchschlagender Bedeutung. Aber wir haben doch wenigstens etwas gewonnen, worauf man der psychologischen Auffassung gegenüber fussen kann; und wenn auch unsere Erörterungen des neu erstandenen Problemes der Proportionalität jener beiden Grössen noch mehr oder weniger einen problematischen und unsicheren Charakter tragen, so wird dieses Problem doch in Zukunft mit grösserer Sicherheit behandelt werden können, und es steht uns ausser Zweifel, dass eine sichere Lösung*) desselben zugleich mit einer endgültigen Beantwortung der Frage nach der Bedeutung des Weber'schen Gesetzes verbunden sein wird, wenn diese Frage nicht bereits vorher auf dem Wege des physiologischen Experimentes in unzweifelhafter Weise entschieden worden ist. Was den gegenwärtigen Stand der Sache anbetrifft, so muss, wie wir darzuthun versucht haben, die physiologische Auffassung als die wahrscheinlichste aller denkbaren Deutungen des Weber'schen Gesetzes bezeichnet werden; von den übrigen Auffassungen verdient die psychologische Auffassung vor der psychophysischen deshalb den Vorzug, weil sie ein weit einfacheres und einleuchtenderes functionelles Verhältniss, nämlich das der Proportionalität, zwischen Empfindung und psychophysischer Thätigkeit annimmt. Wenn wir aber die physiologische Auffassung als die zur Zeit wahrscheinlichste Ansicht bezeichnen, so wollen wir damit selbstverständlich nicht sagen, dass diese Sachlage durch Erweiterung unserer Kenntnisse und Gesichtspunkte nicht geändert werden könne, geschweige denn, dass wir glauben, jene Auffassung mit Sicherheit als die allein mögliche Deutung des Weber'schen Gesetzes erwiesen zu haben.

§ 122.

Mit grossem Eifer hat neuerdings Hering die Triftigkeit des der corrigirten Maassformel zu Grunde liegenden psychophy-

*) Ueber die Natur der zufälligen Fehlervorgänge dürfte sich möglicher Weise auf dem Wege des psychophysischen Experimentes näherer Aufschluss erlangen lassen. Merkwürdiger Weise scheint nach unseren noch nicht ganz abgeschlossenen Untersuchungen ein ganz analoges Verhalten wie die Proportionalität des Präcisionsmaasses und der absoluten Unterschiedsempfindlichkeit auch im Gebiete des Ortssinnes der Haut zu bestehen.

sischen Maassprincipes bestritten. Er erklärt (a. a. O. S. 11 ff.) die Voraussetzung, dass, wenn eine 50 mm. lange Linie um 1 mm. und eine 500 mm. lange Linie um 10 mm. wüchse, alsdann in beiden Fällen die Empfindung den gleichen Zuwuchs erhalte, für offenbar paradox. Denn denke man sich, man hätte der ursprünglich 50 mm. langen Linie so viele eben merkliche Längenzuwüchse ertheilt, dass sie um 50 mm., d. i. um ihre eigene Länge, gewachsen wäre, und man hätte ferner der zweiten Linie, die ursprünglich 50 cm. lang war, genau ebenso viele eben merkliche Längenzuwüchse ertheilt, also dieselbe gleichfalls um ihre eigene Länge vergrössert, so müssten diese zugewachsenen 50 cm. und jene zugewachsenen 50 mm. gleich gross erscheinen; denn beide entsprächen gleich vielen gleich grossen Empfindungszuwüchsen der beiden ursprünglichen Empfindungen. Aus gleichem Grunde müsste ein Gewichtszuwuchs von 100 grm., der zu einem Gewichte von 100 grm. hinzukomme, denselben scheinbaren Gewichtszuwuchs geben wie ein Zuwuchs von 1000 grm., der zu einem Gewichte von 1000 grm. hinzukomme, und man müsste der Täuschung verfallen, es hätte die Schwere der Last in beiden Fällen um gleich viel zugenommen. Der Versuch bestätige aber diese Schlussfolgerungen nicht; vielmehr erscheine der Gewichtszuwuchs von 100 grm. klein, der andere von 1000 grm. gross. Dass diese Ausführungen Hering's die Fechner'sche Maassformel und das derselben zu Grunde liegende Maassprincip gar nicht treffen, hat schon Länger (a. a. O. S. 24 ff.) gezeigt. Die Maassformel besagt doch nur, dass bei gleichen relativen Reizzuwüchsen die Empfindungszuwüchse gleich gross seien. Dass uns die Reizzuwüchse, welche diese gleich grossen Empfindungszuwüchse bewirken, ebenfalls gleich gross erscheinen müssten, besagt jene Formel nicht im Mindesten. Hering's Einwand gegen die letztere ist mithin gerade so triftig, wie es sein würde, wenn Jemand die Behauptung, dass die Empfindung des Roth ihrer Qualität nach der Empfindung des Violett näher stehe als derjenigen des Blau, durch den Hinweis darauf widerlegen wollte, dass wir die qualitative Aenderung des äusseren Reizes im Falle des Ueberganges vom Roth zum Violett für beträchtlicher halten als beim Wechsel zwischen Roth und Blau. Da wir während des gewöhnlichen Lebens vielfach Gelegenheit gehabt haben, wahrzunehmen, dass ein Gewicht oder eine Last von bestimmter Schwere, wenn es zu anderen, bereits vorhan-

denen Hauptgewichten oder Hauptlasten hinzugefügt wird, einen um so weniger merklichen Zuwuchs giebt, je grösser das vorhandene Hauptgewicht bereits ist, und dass Lasten, welche als Zuwüchse zu bereits vorhandenen Lasten Empfindungszuwüchse gleicher oder wenigstens annähernd gleicher Merklichkeit bewirken, um so grösser sind, je beträchtlicher die bereits vorhandene Last ist, so schliessen wir jetzt auch in solchen Fällen, wo wir die Gewichtszuwüchse nicht zuvor abgetrennt von ihren Hauptgewichten mit einander vergleichen können, dass Gewichtszuwüchse, welche gleich merkliche Empfindungszuwüchse bewirken, um so grösser seien, je beträchtlichere Intensität die vorhandene Gewichtsempfindung, zu welcher ein Zuwuchs hinzukommt, bereits besitze. *) Entsprechend verhält es sich im Gebiete des Augenmaasses. Wenn wir in solcher Weise auf Grund unserer Erfahrungen auf um so grössere Reizzuwüchse schliessen, je grösser das Gewicht oder die gegebene Distanz, zu welcher ein Zuwuchs von bestimmter Merklichkeit hinzukommt, bereits ist, so ist dies um nichts wunderbarer als die Thatsache, dass wir Distanzen, die unter gleichem Gesichtswinkel gesehen werden,

*) Dies dürfte allermindestens dann gelten, wenn es sich um verhältnissmässig grosse, beträchtlich übermerkliche Gewichtszuwüchse handelt. Geringe Gewichtszuwüchse pflegen unser Interesse und Aufmerksamkeit während des gewöhnlichen Lebens weniger auf sich zu ziehen. Indessen ich habe Laien, die vom Weber'schen Gesetze nicht das Mindeste wussten, die Methode der eben merklichen Unterschiede auseinandergesetzt, sie dann befragt, ob sie meinten, dass der eben merkliche Gewichtszuwuchs bei einem Hauptgewichte von 300 grm. gleich gross sei als bei einem Hauptgewichte von 3000 grm., und bisher immer die Antwort erhalten, der Gewichtszusatz werde bei Benutzung letzteren Hauptgewichtes grösser sein. Definirt man solchen Laien nach erhaltener Antwort das Weber'sche Gesetz, so kann man sogar das Urtheil hören, dass danach E. H. Weber ja nur etwas Selbstverständliches, was sich jeder selbst sage, ausgesprochen habe. Nach diesen Erfahrungen zweifle ich nicht, dass man auch dann, wenn man zu einem Gewichte von 100 grm. und zu einem von 1000 grm. einen nur eben merklichen Gewichtszuwuchs hinzufüge, mindestens in der Mehrzahl der Fälle das Urtheil vernehmen werde, dass der (der Versuchsperson nicht bekannte) Gewichtszuwuchs bei letzterem Hauptgewichte grösser erscheine. Da übrigens Hering bei obigen Versuchen Kenntniss der Grössen der Gewichtszuwüchse von 100 grm. und 1000 grm. gehabt zu haben scheint, so war es erst recht selbstverständlich, dass ihm der Zuwuchs in einen Falle grösser erschien als im anderen.

für um so grösser halten, je weiter sie von uns entfernt erscheinen, oder mittels eines Hebelarmes erhobene Gewichte, deren Hebung gleiche Anstrengung erfordert, für um so kleiner halten, je länger der Hebelarm ist, an dem sie erhoben werden, u. dergl. m. Man könnte übrigens geneigt sein, Beobachtungsergebnisse der Art, als Hering nach Obigem geltend macht, unter Umständen auch in folgender Weise zu erklären. Wenn man ein Gewicht hebt, so kann man sich — mag nun die Empfindung der Gewichtsgrösse proportional gehen oder wie der Logarithmus derselben wachsen — auf Grund der eintretenden Gewichtsempfindung mit Hilfe früherer Erfahrungen eine ungefähre Vorstellung von der Grösse des gehobenen Gewichtes machen. Wir bezeichnen diese vorgestellte Gewichtsgrösse als das scheinbare Gewicht. Wenn nun auch die scheinbaren Gewichtsgrössen, welche bei Hebung zweier Gewichte von 100 grm. und 200 grm., von 1000 grm. und 2000 grm. vorgestellt werden, nur mit gewisser Unsicherheit und mit gewissen Schätzungsfehlern vorgestellt werden, so sind diese Fehler und diese Unsicherheit doch niemals so gross, dass der Unterschied der beiden scheinbaren Gewichtsgrössen, welche den wirklichen Gewichten von 100 grm. und 200 grm. entsprechen, nicht immer kleiner sei als der Unterschied der den beiden anderen Gewichten zugehörigen scheinbaren Gewichtsgrössen.

Hering hätte also bei jenen Versuchen die Frage nicht dahin stellen sollen, ob zwei Gewichte von 1000 grm. und 2000 grm. um dieselbe Gewichtsgrösse verschieden erscheinen, wie zwei Gewichte von 100 grm. und 200 grm., sondern vielmehr dahin, ob sie einen gleich merklichen Empfindungsunterschied bewirken wie die beiden letzteren Gewichte. In Hinblick auf die unteren Abweichungen vom Weber'schen Gesetze, welche selbstverständlich bei Benutzung sehr beträchtlicher Gewichtsunterschiede noch mehr hervortreten müssen, ist auch dann, wenn man mit Fechner's psychophysischem Maassprincipe gänzlich einverstanden ist, nicht zu bezweifeln, dass Hering auch auf die letztere Frage eine verneinende Antwort erhalten haben würde. Wir haben daher mehrfachen Grund, zu bezweifeln, dass es Hering gelungen sei, durch jene Versuche eine „ganz handgreifliche Paradoxie“ der Voraussetzung gleicher Grösse gleich merklicher Empfindungszuwächse nachzuweisen. Hering scheint überdies die nach der Methode der übermerklichen Unterschiede angestellten Versuche von Delboeuf und Breton nicht zu kennen, deren Resultate mit den Ergebnissen der

nach der Methode der eben merklichen (oder der eben unmerklichen) Unterschiede angestellten Lichtversuche vollkommen in Einklang stehen und daher ausser Zweifel stellen, dass die Summation gleich vieler eben merklicher Empfindungszuwüchse auf jeder Intensitätsstufe der Gesichtsempfindungen einen gleich deutlichen übermerklichen Empfindungszuwuchs ergibt.

Hering führt gegen Fechner's Maassformel ausser dem oben Erwähnten auch noch teleologische Gesichtspunkte an, aus denen sich ergeben soll, dass die scheinbare Länge einer betrachteten Linie der wirklichen Länge derselben proportional gehe und desgleichen zwischen Gewichtsgrösse und entsprechender Empfindungsintensität wenigstens angenäherte Proportionalität bestehe. Hier genüge es, darauf aufmerksam zu machen, dass Hering von jenen erst im nächsten Abschnitte zu erörternden teleologischen Gesichtspunkten abgesehen nicht die mindeste empirische Grundlage für die Behauptung der Proportionalität jener Reiz- und Empfindungsgrössen anführen kann und die bei den bisherigen Gewichts- und Augenmaassversuchen constatirte annähernde Gültigkeit des Weber'schen Gesetzes sich nur mit Hülfe einer sehr complicirten Voraussetzung betreffs der Grössen der eben merklichen Empfindungszuwüchse mit jener Behauptung Hering's vereinen lässt. Hering (a. a. O. S. 13) macht geltend, dass zwischen dem Weber'schen Gesetze und Fechner's Maassformel nicht einmal ein logischer Zusammenhang bestehe, und übersieht hierbei gänzlich, dass zwischen dem thatsächlichen Ergebnisse der bisherigen Gewichts- und Augenmaassversuche und der Annahme, dass die Empfindung der gehobenen Gewichtsgrösse oder der betrachteten Distanzgrösse proportional gehe, noch ein ganz unvergleichlich geringerer Zusammenhang besteht. Hering bemerkt, wie uns scheint, mit Recht, dass man betreffs der Abhängigkeit der Empfindung von der Intensität der ihr unmittelbar zu Grunde liegenden körperlichen Thätigkeit zunächst die einfachste und naheliegendste Voraussetzung, nämlich die der Proportionalität, an den Thatsachen zu prüfen habe. Sollte es nun nicht gleichfalls angemessen sein, betreffs der Frage, in welcher Weise die Merklichkeit eines Empfindungszuwuchses von der Grösse desselben abhängt, gleichfalls die einfachste und naheliegendste Voraussetzung, nämlich die, dass gleich merkliche Empfindungszuwüchse, die bei gleichem Versuchsverfahren erhalten werden, gleich gross seien, bei Erwägung der thatsächlichen Verhältnisse

zunächst zu Grunde zu legen? Hingegen macht Hering betreffs dieser Frage die nicht gerade einfache Voraussetzung, dass die relative Grösse des eben merklichen Empfindungsunterschiedes bei Gewichts- und Augenmaassversuchen bei wachsender absoluter Reizgrösse zunächst sich verringere, dann nahezu constant bleibe und zuletzt wieder abnehme, im Gebiete des Gesichtsinnes jedoch, in welchem die Empfindung unleugbar viel langsamer wachse als die Reizintensität, sich wesentlich anders verhalte. Die Nichtigkeit jener teleologischen Einwände Hering's vorausgesetzt, lässt sich also sagen, dass dieser Forscher nicht das Geringste vorgebracht hat, was die corrigirte Maassformel und das derselben zu Grunde liegende Maassprincip widerlegt, und vielmehr selbst bei seinen Annahmen weit willkürlicher zu Werke geht, als Fechner dies thut, wenn dieser betreffs der Grösse gleich merklicher Empfindungszuwächse die einfachste und naheliegendste Voraussetzung macht, die allerdings dadurch noch keine zur Zeit erwiesene Voraussetzung ist und auch dann, wenn sie sich als im Wesentlichen richtig herausstellt, nicht nothwendig ohne ganz ähnliche Einschränkungen, wie solche z. B. in einem ganz anderen Gebiete das Mariotte'sche Gesetz kennt, zu gelten braucht.

§ 123.

Auch Langer hat neuerdings die der Maassformel Fechner's zu Grunde liegende Voraussetzung gleicher Grösse gleich merklicher Empfindungszuwächse angegriffen. Er nimmt an (a. a. O. S. 19 ff.), die Unterschiedsschwelle habe darin ihren Grund, dass man bei Vergleichung zweier Empfindungsintensitäten sich sowohl der ersteren als auch, da die Vergleichung nicht momentan erfolge, der zu zweit eintretenden der beiden Empfindungen erinnern müsse und die Erinnerung an eine Empfindung stets mit einer gewissen Unsicherheit vor sich gehe, die darin bestehe, dass man sich erinnere, „dass die Empfindung innerhalb gewisser Grenzen gelegen haben müsse; alle Empfindungen innerhalb dieser Grenzen könnten dann dasselbe Erinnerungsbild erzeugen“. Sei nun die Unsicherheit der Erinnerung an die erstere Empfindung γ derartig, dass man schwanke, welche von den zwischen γ_0 und γ_1 gelegenen Empfindungsintensitäten dieser Empfindung γ entspreche, und sei man in gleicher Weise unsicher, welche der

zwischen δ_0 und δ_1 gelegenen Empfindungsintensitäten der späteren Empfindung δ entspreche, so könnten die beiden Empfindungen γ und δ offenbar nicht für verschieden erklärt werden, wenn die Intervalle γ_1 und γ_0 , δ_1 und δ_0 theilweise in einander übergriffen; denn da γ unserer Erinnerung nach jeden Werth in dem Intervalle γ_1 und γ_0 und δ jeden in dem Intervalle δ_1 und δ_0 gelegenen Werth besitzen könnte, so könnten bei ineinander übergreifenden Intervallen γ und δ einander thatsächlich gleich sein. Seien beide Intervalle ganz ausserhalb einander gelegen, so würden die beiden Empfindungen unbedingt als verschieden erkannt werden, und der Grenzfall, wo die beiden Intervalle einander berühren, entspreche offenbar dem Falle, wo der Unterschied der beiden Empfindungen ein eben merklicher sei. Langer zeigt nun, dass nach dieser Vorstellungsweise die eben merklichen Empfindungszuwüchse nur dann gleich gross sein können, wenn die (durch das Intervall δ_1 und δ_0 , γ_1 und γ_0 u. s. w. repräsentierte) Unsicherheit, mit der man sich einer vergangenen Empfindungsgrösse erinnere, von der Intensität der Empfindung völlig unabhängig sei. Dies sei jedoch nicht wahrscheinlich; vielmehr sei wahrscheinlich, dass jene Unsicherheit der Erinnerung um so grösser sei, je intensiver die Empfindung, an die man sich erinnere, gewesen sei. Es werde also (vergl. Langer, a. a. O. S. 59 f.) der eben merkliche Empfindungsunterschied wahrscheinlich mit der Grösse der Reize wachsen, und zwar sei unter solchen Umständen die einfachste mögliche Voraussetzung die, dass der eben merkliche Empfindungsunterschied der Intensität der Reize, welche das eben merkliche Reizintervall bilden, proportional sei. Auf Grund letzterer Voraussetzung und der Annahme, dass für die Abhängigkeit des Unterschiedsschwellenwerthes S von der absoluten Reizstärke an Stelle des Weber'schen Gesetzes die Formel*): $S = k r^2 + \varrho$, wo ϱ die Reizschwelle bedeutet, Gültig-

*) Diese Formel wird der Thatsache, dass die relative Grösse des Unterschiedsschwellenwerthes innerhalb eines gewissen Gebietes mittlerer Reizintensitäten annähernd constant bleibt, nicht hinlänglich gerecht und berücksichtigt den Umstand nicht, dass die Empfindung bereits bei einem endlichen Reizwerthe ihr Maximum erreicht. Wenn ferner Langer es als einen Vorzug obiger Formel betrachtet, dass sie für den Fall, dass $r = 0$ ist, die Reizschwelle ergebe, so hat er (vergl. § 90) den vorausgesetzten Zusammenhang zwischen der Unterschiedsschwelle und Reiz-

keit besitze, leitet Langer an Stelle der corrigirten Maassformel die Gleichung: $s = c \log \frac{k r^2 + e}{e}$, ab, wo ebenso wie k auch c eine Constante ist.

Das Hauptsächlichste dessen, was sich gegen diese Ausführungen Langer's einwenden lässt, ist Folgendes. Erstens ist die Langer'sche Auffassung der Unsicherheit unseres Erinnerungsvermögens eine unerwiesene und sich selbst widersprechende. Wir sollen uns vorstellen, dass die einem vorhandenen Erinnerungsbilde entsprechende Empfindung γ innerhalb zweier bestimmter Grenzemphindungen γ_0 und γ_1 gelegen haben müsse. Jede dieser zwei Grenzemphindungen können wir uns offenbar ebenso wie die ursprünglich gegebene Empfindung γ nur durch ein Erinnerungsbild vergegenwärtigen. Da wir nun aber bei Vorhandensein eines Erinnerungsbildes betreffs der entsprechenden Empfindung immer unsicher sein und uns nur erinnern sollen, „dass die Empfindung innerhalb gewisser Grenzen gelegen haben müsse“, so müssen wir uns auch für jede jener beiden Grenzemphindungen γ_0 und γ_1 zwei Grenzemphindungen zweiter Ordnung vorstellen, innerhalb deren die Grenzemphindung erster Ordnung gelegen haben müsse. Aber auch die Grenzemphindungen zweiter Ordnung vergegenwärtigen wir uns nur durch Erinnerungsbilder; es muss daher auch noch Grenzemphindungen dritter Ordnung geben, desgleichen solche vierter Ordnung, fünfter Ordnung u. s. f. in infinitum. Zweitens, angenommen selbst, jene Langer'sche Auffassung unseres Erinnerungsvermögens sei widerspruchslös und triftig, so hat Langer doch nicht das Allermindeste vorgebracht, aus dem sich ergibt oder auch nur ergeben soll, dass die mit der corrigirten Maassformel vereinbare Voraussetzung, nach welcher jene

schwelle erst noch zu erweisen. Bedauerlicher Weise macht sich in Langer's Schrift neben mehreren treffenden Bemerkungen nicht selten eine Unbekanntschaft mit den einschlagenden Thatsachen bemerkbar. Langer (a. a. O. S. 4, 6, 33, 83 f.) kennt nicht die Versuche von Delboeuf, Fr. Keppler, Mandelstamm, die neuesten Untersuchungen von Vulpian, nach denen die Deutung der Resultate, die man früher bei Zusammenheilung eines centralen Linguatistumpfes und eines peripherischen Hypoglossustumpfes erhalten hat, wiederum zweifelhaft ist, u. dergl. m. Ganz unbegreiflich ist Langer's Behauptung, dass Fechner die bei seinen Gewichtsversuchen erhaltenen Abweichungen vom Weber'schen Gesetze in die Reihe der Beobachtungsfehler verwiesen habe.

Unsicherheit der Erinnerung von der Intensität der vergangenen Empfindung unabhängig ist, unwahrscheinlicher sei als die von Langer selbst hierüber aufgestellte Vermuthung. Drittens ist äusserst zweifelhaft und erst noch von Langer zu erweisen, dass wir zwei gleichzeitig neben einander gegebene, eben merklich verschiedene Helligkeiten nicht unmittelbar, sondern erst mit Hülfe des Gedächtnisses vergleichen. Viertens ist dieser ganze Versuch Langer's, darzulegen, dass die Maassformel Fechner's nur unter der Bedingung aus den Thatsachen des Weber'schen Gesetzes folge, dass man betreffs unseres Erinnerungsvermögens eine unwahrscheinliche Hypothese mache, deswegen schlechthin zu verwerfen, weil er auf der Voraussetzung fusst, dass das Weber'sche Gesetz nur für die eben merklichen, nicht aber auch für die übermerklichen Reizunterschiede annähernde Gültigkeit besitze. Wenn endlich Langer behauptet, unter der Voraussetzung, dass der eben merkliche Empfindungsunterschied mit der absoluten Intensität der Empfindungen wachse, sei die einfachste mögliche Annahme die, dass der eben merkliche Empfindungsunterschied der Grösse der Reize, welche das eben merkliche Reizintervall bilden, direct proportional gehe; so müssen wir diese Behauptung für durchaus unrichtig erklären. Wenn der eben merkliche Empfindungsunterschied in irgend einem Abhängigkeitsverhältnisse zur absoluten Intensität der eben merklich verschiedenen Reizstärken steht, so ist diese Abhängigkeit, wie auch Langer's eigene Deutung der Unterschiedsschwelle annimmt, auf keinen Fall eine directe, sondern eine solche, welche dadurch vermittelt wird, dass der eben merkliche Empfindungsunterschied von der absoluten Intensität der Empfindungen abhängig ist und die Empfindungsintensität wiederum von der Stärke des äusseren Reizes abhängt. Nimmt man also an, dass der eben merkliche Empfindungsunterschied bei wachsender Reizgrösse zunehme, so ist es zweifelsohne das Einfachste, vorauszusetzen, dass die Grösse dieses Unterschiedes der absoluten Empfindungsintensität proportional gehe. Mit dieser Voraussetzung stimmt Langer's Hypothese, dass der eben merkliche Empfindungsunterschied der absoluten Reizintensität proportional sei, offenbar nur dann überein, wenn man annimmt, dass zwischen Empfindung und äusserer Reizstärke Proportionalität bestehe. Da nun Langer's anderweite Ausführungen und Formeln dieser letzteren Annahme durchaus widersprechen, so macht Langer offenbar betreffs der Grösse der eben

merklichen Empfindungszuwüchse keineswegs eine einfache Voraussetzung, vielmehr eine solche, die ein viel zu complicirtes Verhältniss zwischen absoluter Empfindungsintensität und eben merklichem Empfindungszuwuchse ergibt, als dass sie ohne nähere Rechtfertigung irgend welchen Erörterungen zu Grunde gelegt werden dürfte.

§ 124.

Auch Delboeuf (*Théorie générale etc.* S. 21 ff.) hat neuerdings weiter gehende, nicht bloss auf die thatsächlichen Abweichungen vom Weber'schen Gesetze bezügliche Ausstellungen an Fechner's Maassformel gemacht. Er stellt, zunächst von einer Betrachtung der Thatsachen des Temperatursinnes ausgehend, die, rein äusserlich betrachtet, mit Fechner's Maassformel identische Formel: $s = k \log \frac{p'}{p}$, auf, in welcher p' die Temperatur des umgebenden Mediums und p diejenige, nach den Umständen verschiedene, Temperatur bezeichnet, bei welcher die Temperaturempfindung gleich 0 ist. Als einen Vorzug dieser Formel betrachtet er den Umstand, dass sie der Fähigkeit der Haut, sich einer andauernden Temperatur des umgebenden Mediums zu adaptiren, durch die Variabilität von p gerecht werde und, falls $p' > p$ sei, die Wärmeempfindungen, falls $p' = p$ sei, eine Nullempfindung, und falls $p' < p$ sei, die Kälteempfindungen ergebe, die im Gegensatze zu den Wärmeempfindungen als negative Empfindungen zu betrachten seien. Hiegegen ist Folgendes zu bemerken. Zwischen den Wärme- und den Kälteempfindungen besteht kein solcher Gegensatz, der uns nach den Ausführungen des § 116 dazu berechtige, sie als positive und negative Empfindungen einander gegenüberzustellen. Aber selbst vorausgesetzt, man wäre zu Letzterem berechtigt, so steht gerade noch für die Temperaturempfindungen der Nachweis der Gültigkeit des Weber'schen Gesetzes aus, und nur, wenn dieser Nachweis erbracht wäre, liesse sich die Annahme einer logarithmischen Beziehung zwischen Temperaturempfindung und entsprechendem Sinnesreize rechtfertigen. Für die Kälteempfindungen ergeben sogar die Versuche Fechner's mit ziemlicher Sicherheit die Ungültigkeit des Weber'schen Gesetzes. Der von Delboeuf vorausgesetzte Gegensatz der Wärme- und der Kälteempfindungen und

die Thatsache der Adaptation an vorhandene Temperaturen lassen sich für die Formel Delboeuf's durchaus nicht anführen, weil man Beides ausser durch Delboeuf's Formel noch auf sehr mannigfache Weise, z. B. auch durch die Formel: $s = k(p' - p)$, wo p' und p die obige Bedeutung haben, und durch andere ähnliche Formeln repräsentiren kann. Um ferner seine Formel auch im Gebiete des Gesichtssinnes aufrecht erhalten zu können, macht Delboeuf (a. o. a. O. S. 40 ff.) geltend, dass es unstreitig einen gewissen Helligkeitsgrad gebe, der dem Auge am meisten zusage, dieser Helligkeitsgrad sei derjenige, bei welchem die relative Unterschiedsempfindlichkeit ihr Maximum erreiche, und mithin sei die Grösse p obiger Formel für das Gebiet des Gesichtssinnes dieser durch die grösste relative Unterschiedsempfindlichkeit ausgezeichneten Lichtstärke gleich zu setzen. Sei die einwirkende Lichtintensität p' grösser als dieser Lichtwerth p , so habe man eine positive, sei $p' < p$, so habe man eine negative Lichtempfindung, und sei $p' = p$, so sei die Lichtempfindung gleich 0. Indessen die Erfahrung zeigt uns durchaus nicht, dass derjenige Lichtreiz, bei dessen Vorhandensein die relative Unterschiedsempfindlichkeit ihr Maximum besitzt, oder irgend ein anderer endlicher Helligkeitsgrad eine Nullempfindung bewirke. Delboeuf (a. o. a. O. S. 38 f.) sucht diesem Einwande durch den Hinweis auf die Beweglichkeit der Augen und Augenlider und die Veränderlichkeit der Pupillenweite zu begegnen. Allein wenn man eine das ganze Gesichtsfeld einnehmende Fläche von gleichförmiger Helligkeit zunächst bei ganz minimaler Beleuchtungsstärke betrachtet und dann die Beleuchtung allmählich immer intensiver werden lässt, so müsste man trotz jener von Delboeuf geltend gemachten Factoren und trotz der Veränderlichkeit der Grösse p nach Delboeuf's Theorie doch nothwendig einmal an den Punkt kommen, wo $p' = p$ und die Lichtempfindung gleich 0 wird; auch müsste, bevor dieser Nullpunkt der Empfindung einträte, die Empfindung fortwährend an Intensität abnehmen, um erst nach Eintritt jener Nullempfindung allmählich wieder zu wachsen, ähnlich wie auch die Intensität der Temperaturempfindung erst abnimmt, dann 0 wird und zuletzt wieder zunimmt, wenn man eine Temperatur von etwa -20° R. allmählich bis auf $+40^{\circ}$ R. erhöht. Ferner zeigt eine Lichtempfindung sehr geringer Intensität, deren entsprechender Reiz ohne Zweifel geringer als Delboeuf's Grösse p angenommen werden muss, mit einer Licht-

empfindung verglichen, deren entsprechender Reiz zweifelsohne grösser als jener Lichtwerth p ist, keinen solchen Gegensatz, wie zwischen einer Kälte- und einer Wärmeempfindung besteht, geschweige denn einen solchen, der auch nur im Mindesten dazu berechtige, die erstere Empfindung als eine negative und die letztere als eine positive Empfindung zu fassen. Der Unterschied, der zwischen zwei Lichtempfindungen sehr geringer Intensität besteht und der Unterschied, der zwischen den Empfindungen eines sehr schwachen und eines sehr starken Lichtreizes stattfindet, sind der Art nach durchaus nicht verschieden. Man erkennt bereits hinlänglich, dass obige Formel Delboeuf's in der Deutung, welche ihr dieser Forscher giebt, nicht einmal betreffs des Temperatursinnes sich rechtfertigen lässt und vollends im Gebiete des Gesichtssinnes, Hörsinnes u. s. w. zu Consequenzen führt, die aller Erfahrung in's Gesicht schlagen. Da die Ausführungen Delboeuf's das psychophysische Maassprincip und die Deutung des Weber'schen Gesetzes*) nicht weiter betreffen, so verbietet uns leider der Raum und der beschränktere Zweck dieser Schrift, auf die Theorie Delboeuf's in ihrer Gesamtheit näher einzugehen. Wir bedauern sehr, in Folge dessen nicht Gelegenheit zu haben, zu zeigen, dass wir ebenso wie die grossen Verdienste, die sich Delboeuf durch seine Versuchsreihen um die Psychophysik erworben hat, auch das Lehrreiche und Anregende zu schätzen wissen, welches die theoretischen Untersuchungen dieses Forschers in mehrfacher Hinsicht bieten.

Fassen wir die Resultate dieses Capitels kurz zusammen, so lässt sich also sagen, dass die corrigirte Maassformel, welche selbstverständlich nur für diejenigen Sinnesgebiete in Betracht kommt, für welche das Weber'sche Gesetz mit gewisser Annäherung gültig ist, allerdings noch nicht sicher erwiesen ist, aber doch auf der einfachsten und wahrscheinlichsten Voraussetzung betreffs der Grösse gleich merklicher Empfindungsunterschiede fusst. Die Versuche, die man bisher gemacht hat, diese Formel und das ihr zu Grunde liegende psychophysische Maassprincip als zweifelsohne untrifftig zu erweisen und durch andere Formen zu ersetzen, beruhen auf ganz unerwiesenen, zum Theil widerspruchsvollen und mit der Erfahrung nicht vereinbaren Voraus-

*) Delboeuf (a. o. a. O. S. 47 f.) neigt der physiologischen Auffassung zu.

setzungen. Für die Proportionalität des Präcisionsmaasses und der absoluten Unterschiedsempfindlichkeit lässt sich, um dies noch zuzufügen, nur vom Standpunkte der physiologischen Deutung des Weber'schen Gesetzes aus, am allerwenigsten aber vom Standpunkte Hering's oder Langer's aus eine plausible Erklärung finden.

Vierter Abschnitt.

Die Zweckmässigkeit des Weber'schen Gesetzes.

1. Capitel.

Die Wiedererkennung früher wahrgenommener Objecte.

§ 125.

Die wechselnden Zustände unserer Erregbarkeit, die Aenderungen der Entfernungen, aus denen, der Beleuchtung, bei welcher, und der Beschaffenheit der Medien, durch welche hindurch die Gegenstände der Aussenwelt auf uns wirken, bringen nothwendig mit sich, dass die Eindrücke, welche ein und derselbe Gegenstand auf uns macht, zu verschiedenen Zeiten verschiedene, mitunter sogar sehr verschiedene Intensitäten besitzen. Wäre nun die Wiedererkennung früher wahrgenommener Gegenstände und Vorgänge nothwendig an die Bedingung geknüpft, dass die von einem Objecte ausgehenden Reize unserer Sinnesorgane Empfindungen von annähernd derselben Intensität wie früher in uns hervorrufen, so würde unsere Fähigkeit, die Objecte der Aussenwelt zu verschiedenen Zeiten an ihren Wirkungen auf unsere Sinnesorgane wiederzuerkennen, und unser Vermögen, unsere Bewegungen und Handlungen mit Hülfe früher erlangter Erfahrungen der jedesmaligen Umgebung anzupassen, äusserst gering und unvollkommen sein müssen. In Wirklichkeit ist aber die Wiedererkennung eines Objectes nicht an so strenge Bedin-

gungen gebunden; insbesondere genügt es für dieselbe, wenn die von dem Objecte herrührenden Eindrücke sowohl unter einander als auch in Vergleich mit den Eindrücken, welche gewisse andere Gegenstände hervorbringen, die mit dem betreffenden Objecte in räumlichem oder zeitlichem Zusammenhange zu stehen pflegen, für unsere Auffassung gleich merkbliche Unterschiede wie sonst darbieten. So hängt z. B. die Wiedererkennung eines durch gewisse Helligkeitsabstufungen, die Verhältnisse seiner Dimensionen und den Verlauf seiner Contouren ausgezeichneten Gegenstandes davon ab, dass uns die einzelnen Bestandtheile dieses Empfindungscomplexes — die Dimensionen eines Objectes verdeutlichen wir uns durch Herbeiführung entsprechender Muskelempfindungen der Augenmuskeln — sowohl hinsichtlich ihrer Qualität als auch hinsichtlich ihrer Intensität annähernd gleich merkbliche Unterschiede wie sonst darbieten, nicht aber davon, dass wir den Gegenstand bei ganz derselben Beleuchtung und in ganz derselben Entfernung wie früher wahrnehmen. Während nun die Qualitäten der Reize, die ein derartiger Gegenstand auf uns ausübt, bei den Aenderungen unserer Erregbarkeit, der Entfernung des Gegenstandes, der Beschaffenheit des zwischen ihm und uns befindlichen Mediums u. dergl. m. im Grossen und Ganzen unverändert bleiben, werden die Intensitäten dieser Reize durch Aenderungen der soeben angeführten und anderer ähnlicher Umstände in einem für die verschiedenen Intensitäten im Allgemeinen constanten Verhältnisse geändert. So ändern sich z. B. die Intensitäten gleichartiger Lichtreize bei Aenderung der Beleuchtung des sie aussendenden Gegenstandes oder bei Aenderung der Beschaffenheit der Luft und die Intensitäten mehrerer Schallreize, die von einem bestimmten Gegenstande ausgehen, bei Aenderung der Entfernung dieses Gegenstandes in einem für die verschiedenen Intensitäten im Allgemeinen constanten Verhältnisse, und auch die Variationen der Erregbarkeit scheinen sich nach § 99 annähernd in der Weise geltend zu machen, dass bei bestimmter Zunahme oder Abnahme derselben die Erfolge, welche Reize von verschiedener Intensität im Sinnesnerven haben, ebenso zunehmen oder abnehmen, als wenn sämtliche Reize in einem für die verschiedenen Intensitäten gleichen Verhältnisse erhöht oder vermindert worden wären. Werden nun hiernach die Intensitäten gleichartiger Reize, welche durch einen oder mehrere zu einander

gehörige Gegenstände auf unser Sinnesorgan ausgeübt werden, durch verschiedenartige Umstände fast fortwährend in annähernd gleichem Verhältnisse geändert, und ist andererseits zur Wiedererkennung eines oder mehrerer Gegenstände erforderlich, dass wenigstens die Merklichkeiten der Empfindungsunterschiede oder, um uns des Fechner'schen Ausdruckes zu bedienen, die empfundenen Unterschiede, welche den von den betreffenden Gegenständen ausgehenden gleichartigen Sinnesreizen entsprechen, unter den verschiedenen äusseren und inneren Perceptionsverhältnissen annähernd constant bleiben, so ist es zweifelsohne für unsere Orientierung in der uns umgebenden Aussenwelt die zweckmässigste Einrichtung, dass zwei gleichartige Sinnesreize immer einen gleich merklichen Empfindungsunterschied zu Folge haben, wenn ihre Intensitäten in gleichem Verhältnisse erhöht oder vermindert werden, und eben dies besagt das Weber'sche Gesetz.

Wäre also das Weber'sche Gesetz in keinem Maasse gültig, so würden wir ein Object, welches nicht nur durch die Qualitäten und qualitativen Unterschiede der von ihm ausgehenden Sinnesreize, sondern vor Allem auch durch seine Helligkeitsabstufungen, seine mittels des Augenmaasses zu verdeutlichende Dimensionsverhältnisse und vielleicht auch durch Intensitätsverhältnisse gewisser von ihm ausgehender Tonfolgen charakterisirt ist, unter veränderten äusseren oder inneren Perceptionsverhältnissen gar nicht wiedererkennen können, falls wir nicht früher auf umständliche und langwierige Weise bereits beobachtet hätten, welche Aenderungen die von dem betreffenden Objecte hervorgerufenen Sinneseindrücke erfahren, wenn sich die Beleuchtung oder Entfernung des Objectes oder unsere Erregbarkeit u. dergl. m. in bestimmter Richtung ändert. Von einer Anführung detaillirter Beispiele für das im Vorstehenden zu Gunsten des Weber'schen Gesetzes geltend gemachte Princip,*) das sich als ein Princip der leichtesten Wiedererkennung früher wahrgenommener Objecte bezeichnen lässt, müssen wir leider absehen, da eine solche Exemplificirung wegen der mannigfachen und verwickelten Verhältnisse, die bei Wiedererkennung früher wahrgenommener Objecte mit von Einfluss sind, zu weitläufige Erörterungen mit sich führen würde. Nur darauf wollen wir auf-

*) Schon Mach (Sitzungsber. der Wiener Akad., Math. Nat. Cl., Bd. LVII, Abth. II, S. 12) und Helmholtz (Popul. Vorträge, 3. Heft

merksam machen, dass dieses Princip nur auf das Gebiet des Gesichtssinnes, Augenmaasses und vielleicht auch Hörsinnes gut Anwendung findet. Für das Gebiet des Muskelsinnes der Arme und etwaige andere Sinnesgebiete, in denen sich das Weber'sche Gesetz noch als gültig erweisen sollte, werden andere Zweckmässigkeitsprincipien zu suchen sein.

Bei Erwägung unserer obigen Ausführungen wird man zweierlei mit in Betracht zu ziehen haben, nämlich erstens die Variabilität der Pupillenweite und die sogenannte Adaptation der Sinnesorgane, insbesondere der Netzhaut, und zweitens die wenigstens annähernde Gültigkeit des Satzes (vergl. §§ 98 und 99), dass eine in constantem (nicht zu grossem) Verhältnisse vor sich gehende Aenderung gegebener Reizstärken durch eine Aenderung der Erregbarkeit, bei welcher diese Reizstärken auf uns wirken, compensirt werden kann. Es sei bei gewöhnlicher, mittlerer Beleuchtungsstärke ein Gesichtsobject gegeben, das physikalisch betrachtet durch das Verhältniss der Helligkeiten r' und r'' , die verschiedene seiner Theile besitzen, und psychologisch betrachtet

durch die Merklichkeit des zu $\frac{r'}{r''}$ zugehörigen Empfindungsunterschiedes charakterisirt ist. Wird nun die Beleuchtung dieses Objectes nur in dem Maasse geändert, dass die Grenzen der annähernden Gültigkeit des Weber'schen Gesetzes dabei nicht überschritten werden, so wird die Merklichkeit jenes Empfindungsunterschiedes nahezu dieselbe bleiben. Wird jedoch die Beleuchtungsintensität sehr vermindert, so wird zunächst auch die Merklichkeit jenes Empfindungsunterschiedes eine beträchtlich geringere sein. Allein sobald sich die Beleuchtung bedeutend verringert hat, erweitert sich die Pupille und steigt in Folge der Adaptation der Netzhaut unsere Erregbarkeit. Dieses Wachsthum der Erregbarkeit macht sich ebenso wie die Pupillenerweiterung wenigstens nahezu so geltend, als würden die Helligkeiten r' und r'' in constantem Verhältnisse erhöht, als würden dieselben durch eine Wiedererhöhung der Beleuchtungsstärke in den unteren Theil des Gebietes der annähernden Gültigkeit des Weber'schen Gesetzes hinübergeführt, und in Folge dessen ist die Merklichkeit jenes Empfindungsunterschiedes, sobald wir uns

S. 76) deuten dieses Princip betreffs des Gesichtssinnes an, wenn auch nicht in ganz präciser Fassung.

an die verminderte Beleuchtung adaptirt haben, ganz oder beinahe dieselbe wie früher. Ganz analog verhält es sich, wenn eine Beleuchtung von mittlerer Intensität sehr gesteigert wird. Alsdann wirkt die Pupillenverengerung und die in Folge der Adaptation der Netzhaut eintretende Erregbarkeitsabnahme so, als ob die beiden Reize r' und r'' in gleichem Verhältnisse verringert und dadurch in den oberen Theil des Gebietes der annähernden Gültigkeit des Weber'schen Gesetzes hinübergeführt würden. *)

Das Princip der leichtesten Wiedererkennung früher wahrgenommener Objecte fordert übrigens, um dies noch beiläufig zu bemerken, nicht bloss eine Gültigkeit des Weber'schen Gesetzes und des Parallelgesetzes, sondern auch noch die Gültigkeit anderer Sätze, vor Allem des Satzes, dass die qualitativen Unterschiede der Gesichtsempfindungen sich nicht zu ändern scheinen, wenn die Intensitäten der entsprechenden Lichtreize in gleichem Verhältnisse erhöht oder vermindert werden. Es ist bemerkenswerth, dass dieser letztere Satz mit ganz entsprechenden, unteren und oberen, Abweichungen gilt wie das Weber'sche Gesetz und das Parallelgesetz, insofern sich bei beträchtlich zunehmender, bez. abnehmender, Beleuchtung alle Farben dem Weiss, bez. Schwarz, nähern und dadurch einander ähnlicher werden. **) Eine weitere Consequenz des Principes der leichtesten Wiedererkennung ist das Gesetz, dass, wie insbesondere auch die Versuche von Valerius (Pogg. Annal., Bd. 150, S. 317 ff.) ergeben, die subjective Helligkeit eines Gesichtsobjectes nahezu dieselbe ist, mag dasselbe mit einem oder mit beiden Augen betrachtet werden. Wäre dieses Gesetz nicht gültig, so würden wir mitunter, wenn wir einen Gegenstand zum Theil mit einem, zum Theil mit beiden Augen wahrnehmen, Helligkeitsunterschiede wahrzunehmen glauben, wo wir in früheren Fällen gar keine Lichtunterschiede beobachtet haben, und so in der Wiedererkennung der Gesichtsobjecte beträchtlich behindert werden. Indessen darf man nicht ausser Auge lassen, dass andere That-sachen, z. B. der Umstand, dass sich die Merklichkeit des Hellig-

*) Wenn die Herabsetzung oder Steigerung der Beleuchtungsstärke sehr bedeutend ist, vermag selbstverständlich der Einfluss der Pupillenänderung und Netzhautadaptation die Merklichkeit des gegebenen Helligkeitsunterschiedes auch nicht annähernd auf die frühere Höhe zurückzuführen. — **) Man vergl. hierzu auch Fechner, Ps. I, S. 332.

keitsunterschiedes zweier Lichtflächen bis zu gewisser Grenze mit der Ausdehnung der entsprechenden Netzhautbilder ändert, mit jenem Principe der leichtesten Wiedererkennung weniger übereinstimmen, dass wir nie im Stande sein werden, Zweckmässigkeitsprincipien darzulegen, welche den Naturlauf beherrschen, sondern nur solche, denen derselbe mehr oder weniger nachstrebt, und dass da, wo wir ein Zweckmässigkeitsprincip als maassgebend betrachten, thatsächlich noch andere, nur so zu sagen durch Compromiss damit vereinbare, uns unbekannte Principien in Betracht kommen können und überhaupt bei unserer geringen Einsicht in die in Betracht kommenden Verhältnisse alle derartige teleologische Betrachtungen nur untergeordnete Bedeutung beanspruchen dürfen.

2. Capitel.

J. J. Müller's und Hering's teleologische Standpunkte.

§ 126.

Es leuchtet ein, dass die vorstehenden teleologischen Betrachtungen die Deutung des Weber'schen Gesetzes nicht im Mindesten berühren. Denn während man z. B. vom Standpunkte der physiologischen Auffassung dieses Gesetzes aus bemerken kann, aus Vorstehendem erhelle, zu welchem Zwecke in gewissen Sinnesgebieten zwischen Nervenirregung und Reizstärke ein annähernd logarithmisches Verhältniss bestehe, wird man vom Standpunkte der psychologischen Auffassung aus geltend machen können, wie zweckmässig es nach Vorstehendem sei, dass für die Beziehung zwischen Reiz und Nervenirregung die Formel: $s = r^p$, annähernd Gültigkeit besitze. Kurz jede denkbare Deutung des Weber'schen Gesetzes wird in irgend welcher Weise die von uns angedeutete Zweckmässigkeit dieses Gesetzes für sich anführen können, und eben daraus folgt, dass obige teleologische Betrachtungen zur Entscheidung der Frage nach der Bedeutung dieses Gesetzes nichts beitragen.

Weiter gehende Bedeutung scheinen die teleologischen Auseinandersetzungen J. J. Müller's (Sitzungsber. d. K. Sächs. Ges. d. W. von 1870, Math.-phys. Cl., S. 328 ff.) zu besitzen,

da dieser Forscher die Zweckmässigkeit nicht bloss des Weber'schen Gesetzes, sondern des psychophysischen Grundgesetzes Fechner's zu erweisen sucht. J. J. Müller geht davon aus, dass thatsächlich Verminderung und Erhöhung der Erregbarkeit in stetigem Wechsel auf einander folgen, und deshalb bei constantem Reize eine fortwährende Aenderung der Empfindung eintritt, die ebenso gut durch Aenderung des Reizes bei constanter Erregbarkeit hervorgerufen sein könnte. „Daraus entspringt,“ so fährt er fort, „für das Bewusstsein die Forderung zu unterscheiden, welche von diesen Aenderungen der Empfindung Aenderungen des äusseren Objects und welche von ihnen Aenderungen des eigenen Zustandes angehören. Empfindungsunterschiede, welche bei gleicher Erregbarkeit von verschiedenen Reizen bedingt sind, müssen also als von äusseren Ursachen und Verschiedenheiten, welche bei gleichem Reize durch verschiedene Erregbarkeit in der Empfindung hervorgebracht sind, als von diesen inneren Ursachen herrührend erkannt werden. Dies verlangt, dass der durch Verschiedenheit der Reize bedingte Empfindungsunterschied unabhängig ist von der Erregbarkeit und der durch Verschiedenheit der Erregbarkeit bedingte Empfindungsunterschied unabhängig vom Reize. Denn wird unter diesen Voraussetzungen bei constantem Reizunterschiede die Erregbarkeit geändert, so bleibt der Empfindungsunterschied doch constant, woraus das Bewusstsein schliesst, dass er eben nicht der Verschiedenheit der Erregbarkeiten, sondern der constanten Verschiedenheit der äusseren Reize angehört. Und wird umgekehrt bei zwei gegebenen Graden der Erregbarkeit der äussere Reiz geändert, so bleibt der Empfindungsunterschied doch derselbe, was eben nur möglich ist, wenn er durch die constante Verschiedenheit der Erregbarkeit bedingt ist“. J. J. Müller zeigt nun auf nicht uninteressante Weise, dass den angegebenen Forderungen unter der Voraussetzung, dass die Nerven-erregung dem Producte aus Reizstärke und Erregbarkeit proportional gehe, nur durch die Annahme genügt wird, dass die Empfindung wie der Logarithmus der Nerven-erregung zunehme. Hierzu bemerken wir kurz Folgendes. Erstens will uns die Ausdehnung der teleologischen Betrachtungsweise auf die Gesetze der unmittelbaren Wechselwirkung zwischen Physischem und Psychischem nicht ganz unbedenklich erscheinen. Zweitens, wenn dasjenige, was J. J. Müller anführt, um zu zeigen, dass unter Voraussetzung von Proportionalität zwischen Reiz und

Sinnesnervenerregung das Bestehen des psychophysischen Gesetzes Fechner's sehr vortheilhaft sei, wirklich stichhaltig und triftig wäre, so würde die physiologische Auffassung des Weber'schen Gesetzes in ganz entsprechender Weise darthun können, dass unter Voraussetzung der Proportionalität zwischen Empfindung und Nervenerregung sich das logarithmische Verhältniss zwischen letzterer und der Reizstärke durch seine Zweckmässigkeit empfehle. Drittens können wir uns aber mit demjenigen, was der genannte Forscher nach Obigem anführt, um die Zweckmässigkeit des Fechner'schen Gesetzes darzuthun, durchaus nicht einverstanden erklären. Zunächst muss man daran Anstoss nehmen, dass nach J. J. Müller's Ansicht das Bewusstsein auf die objective Begründung eines Empfindungsunterschiedes nur dann schliessen kann, wenn dieser ihm bei verschiedenen Erregbarkeiten dargeboten wird und es somit in der Unabhängigkeit des Empfindungsunterschiedes von den Aenderungen der Erregbarkeit die nöthige Unterlage zu jenem Schlusse findet. Ferner drängt sich die Frage auf, auf welche Weise denn eigentlich das Bewusstsein zu der für jenen Schluss ganz nothwendigen Erkenntniss kommen soll, dass sich während der Constanz des Empfindungsunterschiedes die Erregbarkeit geändert habe. Man wird sagen, nach Obigem schliesse das Bewusstsein eben dann auf eine Aenderung der Erregbarkeit, wenn ein und derselbe Reiz eine Empfindung anderer Intensität zu Folge habe als zuvor, und der Unterschied zweier Empfindungen, die einem und demselben gegebenen Reize entsprächen, von der Intensität des gegebenen Reizes unabhängig sei. Aber woran erkennt denn das Bewusstsein, ob es dieselben oder verschiedene Reize sind, welche bei veränderter Erregbarkeit verschieden intensive Empfindungen hervorrufen? Nach obiger Auslassung J. J. Müller's daran, dass der Unterschied der Empfindungen zweier Reize constant bleibt, während die Erregbarkeit sich ändert. Aber woraus schliesst denn eben, fragen wir nun zum zweiten Male, das Bewusstsein, dass sich die Erregbarkeit ändere oder geändert habe? — So drehen wir uns immer im Kreise herum, wenn wir von der Auffassung des genannten Forschers ausgehend uns die Frage zu beantworten suchen, wie es komme, dass das Bewusstsein fähig sei, gegebene Empfindungsunterschiede ganz richtig in gewissen Fällen auf Unterschiede der entsprechenden Reizstärken, in anderen Fällen hingegen auf einen Wechsel der Erregbarkeit zu beziehen.

Nach jener Auffassung würde das Bewusstsein diese Fähigkeit selbst nach unendlich langer Zeit nicht erlangen können.

§ 127.

Ganz besonderes Gewicht legt Hering seinen teleologischen Betrachtungen bei, die ihm, wie schon in § 122 angedeutet, zu ergeben scheinen, dass es zu unwahrscheinlichen, ja sogar paradoxen Consequenzen führe, wenn man auf Grund der Resultate, die sich bei den bisherigen Versuchen mit Distanz- und mit Gewichtsgrössen herausgestellt haben, für diese Versuchsgebiete die Gültigkeit der Fechner'schen Maassformel voraussetze. Hering (a. a. O. S. 5 und 24) tritt mit der allgemeinen Behauptung auf, dass, wenn ein concretes Verhältniss zweier Raumgrössen richtig durch die Sinne aufgefasst werden solle, es nöthig sei, dass die Grössen der Empfindungen oder Vorstellungen, welche den einzelnen Gliedern des Verhältnisses entsprächen, dasselbe Verhältniss unter sich hätten, wie diese Glieder des Verhältnisses selbst, mithin den letzteren proportional gingen. Ebenso sei eine angenäherte Proportionalität zwischen Gewichtsgrösse und entsprechender Empfindung für eine richtige Auffassung der Gewichts- oder Widerstandsverhältnisse erforderlich. Diese Verhältnisse müssten uns, wenn Fechner's Maassformel Gültigkeit besässe, „in ganz entstellter Weise zum Bewusstsein kommen. Der Unterschied zwischen 5 und 10 Loth . . . würde uns nicht kleiner erscheinen, als der Unterschied zwischen 5 und 10 Pfund; wir würden von allen dynamischen Verhältnissen der Aussenwelt nur Zerrbilder empfangen“. Hering setzt hier offenbar voraus, dass wir das Vermögen besässen, die Unterschiede und Verhältnisse gegebener Gewichtsempfindungen aufzufassen und zu vergleichen, und uns dieses Vermögens bei Beurtheilung der Unterschiede gehobener Gewichte in der Weise bedienen, dass wir ohne Weiteres die Grössen der Gewichtsunterschiede den Empfindungsunterschieden proportional setzten. Besässen wir jenes Vermögen und wäre uns in untilgbarer Weise die Voraussetzung angeboren, dass die Gewichtsempfindung (nicht aber die Lichtempfindung, für welche Hering ein langsames Wachsthum annimmt) der entsprechenden Reizgrösse proportional gehen müsse, so müssten wir uns allerdings die Gewichtsverhältnisse in ganz entstellter Weise vorstellen, wenn Gewichtsgrösse und Empfindung in einem wesentlich anderen Verhältnisse

als in dem der Proportionalität zu einander stünden. Allein jenes Vermögen, die Unterschiede oder Verhältnisse gegebener Empfindungen aufzufassen und zu vergleichen, geht uns ganz und gar ab, wie schon hinlänglich daraus hervorgeht, dass zwei mit bestimmter Merkbarkeit verschiedene, z. B. eben merkbar verschiedene, Empfindungsintensitäten nach der Meinung einiger Forscher in einem constanten Verhältnisse zu einander stehen, nach der Ansicht anderer um eine constante absolute Grösse differiren, nach der Auffassung wieder anderer endlich sich noch anders zu einander verhalten. Wer möchte behaupten, die innere Beobachtung ergebe ihm, dass diese Empfindung gerade noch einmal so intensiv sei wie jene! Nicht die Unterschiede oder Verhältnisse gegebener Empfindungen, sondern nur die Merklichkeiten dieser Unterschiede oder Verhältnisse vermögen wir wahrzunehmen und insoweit zu vergleichen, dass wir ihre Gleichheit oder Ungleichheit erkennen. Bei constanter absoluter Empfindungsstärke und sonst gleich bleibenden Perceptionsbedingungen kann uns allerdings die Merklichkeit eines hinzukommenden Empfindungszuwuchses als ein ungefährer Maassstab der Grösse des letzteren dienen, insofern wir denselben für um so grösser halten, je merklicher er ist; aber wir sind nicht im Stande, anzugeben, in welchem Verhältnisse ein Empfindungszuwuchs, dessen Merklichkeit in bestimmtem Maasse zugenommen hat, gewachsen sei. Und sind vollends die Empfindungen, zu denen Zuwüchse von grösserer oder geringerer Merklichkeit hinzukommen, nicht von gleicher, sondern verschiedener Intensität, so vermögen wir nicht einmal darüber zu urtheilen, ob dieser oder jener von den gegebenen Empfindungszuwüchsen der grössere sei; wir erkennen, dass dieser Empfindungszuwuchs weniger merklich oder gleich merklich oder merklicher ist als jener; ob aber der gleichen Merklichkeit der Empfindungszuwüchse in solchem Falle auch eine gleiche Grösse derselben entspreche, ob der merklichere Empfindungszuwuchs, der zu einer anderen Empfindungsintensität hinzukommt, auch nothwendig der grössere sein müsse, darüber vermag man sich wie gesehen nur auf Grund einer mehr oder weniger unsicheren Hypothese, deren Richtigkeit von Anderen bestritten werden wird, zu äussern.

Wir sind also thatsächlich sehr weit davon entfernt, die von Hering vorausgesetzte Fähigkeit der Auffassung und Vergleichung von Empfindungsunterschieden oder Empfindungsver-

hältnissen zu besitzen. Aber selbst angenommen, wir besässen diese Fähigkeit, so würde daraus noch keineswegs folgen, was Hering an zweiter Stelle voraussetzt, dass wir nämlich dann, wenn wir auf Grund gegebener Gewichtsempfindungen über die Grössen und Unterschiede gehobener Gewichte urtheilen, die Gewichtsgrossen und deren Unterschiede nothwendig als proportional zu den Gewichtsempfindungen und deren Unterschieden betrachten müssten, gleich als ob wir geborene Psychophysiker von der Richtung Hering's wären. Bei Beurtheilung der Grössen und Unterschiede gehobener Gewichte würde, wie in allen solchen Fällen, lediglich unsere Erfahrung maassgebend sein. Dieselbe würde uns, falls z. B. die Gewichtsempfindung genau wie der Logarithmus der Gewichtsgrossen zunähme, hinlänglich gezeigt haben, dass der Unterschied zweier Gewichtsgrossen, welche einen bestimmten Empfindungsunterschied bewirken, mit gewisser Gesetzmässigkeit um so grösser sei, je beträchtlicher die geringere der beiden verglichenen Gewichtsgrossen, bez. der beiden verglichenen Gewichtsempfindungen, sei; und so würden wir selbst dann, wenn wir jenes von Hering vorausgesetzte psychische Vermögen besässen und die Maassformel Fechner's für die Gewichtsempfindungen streng gültig wäre, die Gewichtsverhältnisse in demselben Maasse richtig beurtheilen, als wir es in Wirklichkeit thun, wo wir jenes Vermögen nicht besitzen.

Hering's obiger Einwand gegen die Annahme, dass die corrigirte Maassformel für die Gewichtsempfindungen bestehe, ist also deswegen ganz und gar untriftig, weil wir Empfindungsunterschiede oder Empfindungsverhältnisse gar nicht, sondern nur deren Merklichkeiten aufzufassen und hinsichtlich ihrer Gleichheit oder Ungleichheit zu vergleichen vermögen, und der Umstand, welche Gewichtsgrossen, bez. welchen Gewichtsunterschied oder welches Gewichtsverhältniss, wir uns als die äussere Ursache einer Gewichtsempfindung, bez. eines in irgend welchem Maasse merklichen Unterschiedes zweier Gewichtsempfindungen, vorstellen, lediglich von der Erfahrung abhängt. Hering (a. a. O. S. 10) selbst bemerkt gelegentlich Folgendes: „Nur wenn sich Einer gut darauf eingeübt hat, das absolute Gewicht einer Last zu schätzen und das Gewicht nach Grammen, Lothen etc. anzugeben, vermag er dann auch das wirkliche Verhältniss zweier Gewichte annähernd in Zahlen auszudrücken. Er bestimmt dann für beide das absolute Gewicht und berechnet sich hieraus das

Verhältniss.“ Diese eigene Auslassung Hering's besagt ja ganz klärlich, dass eine Auffassung der Verhältnisse gegebener Gewichte nur insoweit möglich ist, als sich mit den Gewichtsempfindungen auf Grund längerer Erfahrung und Uebung die Vorstellungen der betreffenden Gewichtsgrössen associirt haben. Auch nach der corrigirten Maassformel wächst die Gewichtsempfindung noch schnell genug, so dass sich bei hinreichender Uebung und Erfahrung in diesem Beobachtungsgebiete mit der Vorstellung eines Gewichtes von 5 Loth eine Gewichtsempfindung von merklich anderer Intensität associiren kann, als sich mit der Vorstellung eines Gewichtes von 10 Loth, 20 Loth u. s. f. associirt. Auch wenn jene Formel gilt, kann die Erfahrung darüber belehren, dass ein Gewichtszuwachs von bestimmter Mercklichkeit um so grösser ist, je beträchtlicher das Gewicht ist, zu dem er hinzukommt, z. B. grösser ist, wenn er zu einem Gewichte von 5 Pfund hinzugefügt wird, als wenn er zu einem solchen von 5 Loth hinzukommt.*)

Nach dem Vorstehenden ist kaum nöthig, noch näher auf die an die oben erwähnten Auslassungen Hering's sich anschliessende Behauptung dieses Forschers (a. a. O. S. 12, 24 f.) einzugehen, dass zwischen Gewichtsgrösse und entsprechender Empfindung Proportionalität bestehen müsse, weil sonst die Einübung mechanischer Fertigkeiten, bei welcher es überall auf eine richtige Auffassung der Gewichtsverhältnisse ankomme, unmöglich erscheine. Wird uns die Aufgabe gestellt, ein Gewicht von 10 Loth nach einem bestimmten, etwas entfernten Punkte einer vor uns befindlichen Fläche zu werfen, so werden wir im Allgemeinen zu kurz oder zu weit werfen und erst nach einiger Uebung die Fertigkeit erlangen, den angegebenen Punkt oder dessen grösste Nähe zu treffen. Haben wir diese Fertigkeit erlangt und wird uns nun ein Gewicht von 5 Pfund in die Hand gegeben, so haben wir mit jener Fertigkeit nicht auch zugleich die Fähigkeit erlangt, dieses andere Gewicht mit gleicher Genauigkeit in dieselbe Entfernung zu schleudern, sondern es wird hierzu neuer, wenn auch vielleicht (in Folge erlangter grösserer Fähigkeit, die Aufmerksamkeit auf die Ausübung der betreffenden Handlung zu concentriren, die Körperstellung bei derselben constant zu halten, u. dergl. m.) kürzerer, Uebung bedürfen, und während dieser neuen Uebung wird man dann mög-

*) Man vergl. hierzu die Ausführungen des § 122.

licher Weise die vorher erlangte Beherrschung des kleineren Gewichtes wieder etwas verlernen. Man wird uns zugeben müssen, dass es sich mit der Erlernung mechanischer Fähigkeiten in ähnlicher Weise verhält.*) Inwiefern ein solches Verhalten die Proportionalität von Empfindung und Gewichtsgrösse ergebe, bleibt uns unerfindlich. Es genügt, wenn die den verschiedenen Gewichtsgrössen entsprechenden Empfindungen hinlänglich verschieden sind, so dass sich unter Umständen mit der Empfindung eines gegebenen Gewichtes die Vorstellung des willkürlichen Kraftaufwandes associiren kann, der erforderlich ist, um gerade mit diesem Gewichte eine bestimmte Leistung auszuführen. Wenn Hering geltend macht, dass für die Erlernung mechanischer Fertigkeiten, welche von einer richtigen Auffassung der Gewichtsverhältnisse abhängen, die Proportionalität von Empfindung und Gewichtsgrösse ganz wesentlich sei, so übersieht er ganz, dass man sehr wohl gelernt haben kann, gewisse Leistungen mit Gewichten verschiedener Schwere gleich sicher und präcis auszuführen, ohne über die Verhältnisse, in denen die benutzten Gewichtsgrössen zu einander stehen, auch nur einigermaßen richtig Auskunft geben können. Die Erlernung derartiger Fertigkeiten pflegt eben lediglich so zu Stande zu kommen, dass die Gewichtsempfindungen und die Vorstellungen des erforderlichen willkürlichen Kraftaufwandes sich unmittelbar mit einander associiren; sie ist von der Auffassung der Gewichtsverhältnisse ganz und gar unabhängig; und wäre sie davon abhängig, so würde, wie oben hinlänglich gesehen, zu einer richtigen Auffassung der Gewichtsverhältnisse die Proportionalität

*) So weiss jeder gediente Soldat, der Gewehre verschiedener Art in die Hand bekommen hat, dass, wenn man gelernt hat, ein bestimmtes Gewehr mit Präcision zu handhaben, man die Gewehrgriffe mit einem beträchtlich leichteren oder schwereren Gewehre nicht sofort mit gleicher Präcision auszuführen vermag; jeder erfahrene Croquetspieler wird zugeben, dass man, auf Kugeln und Hämmer von bestimmter Schwere eingeübt, bei Benutzung leichterer oder schwererer solcher Gegenstände nicht sofort die sonstige Fertigkeit entwickeln kann u. dergl. m. Will man behufs Prüfung der Frage, welche Rolle die Uebung bei Erlernung mechanischer Fertigkeiten spiele, Versuche der oben angedeuteten Art anstellen, so wird es sich empfehlen, nicht ein aufrecht stehendes Object, welches von Gegenständen, die verschieden weit geflogen sein würden, in gleicher Weise getroffen werden kann, sondern einen nicht zu nahen Punkt der Fläche des Fussbodens als Zielpunkt zu bestimmen.

von Gewichtsempfindung und Gewichtsgrösse keineswegs erforderlich sein. Hering scheint fast vorauszusetzen, dass wir im obigen Falle in folgender Weise verfahren: wir suchten uns das Verhältniss zu vergegenwärtigen, in welchem das schwerere Gewicht (von 5 Pfund) zu dem leichteren Gewichte (von 10 Loth) stehe, auf das man sich bereits eingeübt habe, und bemässen dann nach der Grösse des vorgestellten Gewichtsverhältnisses den willkürlichen Kraftaufwand, der erforderlich sei, um die mit dem leichteren Gewichte bereits vielfach vollführte Leistung nun auch mit dem schwereren Gewichte auszuführen. Angenommen selbst, wir verfahren in dieser Weise, so würden wir doch nur auf dem Wege langer Uebung und Erfahrung dazu gelangt sein, zu wissen, welche Steigerung des willkürlichen Kraftaufwandes erforderlich ist, um mit einem Gewichte, das so und so viele Male schwerer ist als ein bestimmtes anderes, die gleiche Leistung wie mit diesem auszuführen. Hering (a. a. O. S. 25) spricht von einer Harmonie, welche zwischen unseren Empfindungen gegebener Gewichte oder Widerstände und den Empfindungen der zur Ueberwindung letzterer von uns willkürlich aufgewandten Kräfte bestehe.*) Aber auch zur Kenntniss dieser Harmonie würden wir doch nur auf Grund langer Uebung und Erfahrung gelangen können; auch ist die Voraussetzung dieser Harmonie eine ganz unerwiesene und sogar bedenkliche, insofern sich das eigene Gewicht der Armtheile da, wo wir uns die Schwere eines Gewichtes zu vergegenwärtigen suchen, und da, wo wir einen Gegenstand in die Ferne schleudern u. dergl., sich leicht in verschiedener Weise geltend machen dürfte. Man sieht hinlänglich, dass Hering's Auffassung der Erlernung mechanischer Fertigkeiten, gegen welche bereits Langer (a. a. O. S. 26 ff.) Treffendes bemerkt hat, auf unerwiesenen und unhaltbaren Voraussetzungen beruht und ausserdem auch selbst den Einfluss der Uebung und Erfahrung anerkennen und zu Hilfe ziehen muss,

*) Hering scheint hierbei vorauszusetzen, dass wir im Stande wären, einen eintretenden Willensimpuls so abzumessen, dass derselbe sich zu einem früheren Willensimpulse gerade so verhält, wie sich eine soeben vergangene Gewichtsempfindung zu einer jenem früheren Willensimpulse vorhergehenden Gewichtsempfindung verhält. Allein die eigene Beobachtung sagt Jedem, dass wir weder die Intensitätsverhältnisse unserer Gewichtsempfindungen noch diejenigen unserer Willensimpulse aufzufassen vermögen.

während sich lediglich unter Bezugnahme auf letzteren Einfluss die Erlernung jener Fertigkeiten auch vom Standpunkte der corrigirten Maassformel aus ohne irgend welche unerwiesene Voraussetzungen erklären lässt. Sollte übrigens Hering nicht ganz übersehen haben, dass wir uns nicht bloss darauf einüben können, Gewichte verschiedener Schwere in gleiche Entfernung zu schleudern, sondern auch darauf, ein und dasselbe Gewicht nach verschieden entfernten Zielpunkten zu werfen? Oder nimmt Hering auch hier an, dass zwischen denjenigen Empfindungen, welche von den Convergenzstellungen unserer Augen abhängig sind, und den Empfindungen der willkürlichen Kräfte, die erforderlich sind, um das Gewicht nach denjenigen Punkten zu werfen, auf welche unsere Augen convergiren, „Harmonie“ bestehe?

Nach dem Bisherigen brauchen wir nicht weiter auf die obige Behauptung Hering's einzugehen, dass das Verhältniss zweier Raumgrössen nur dann richtig durch die Sinne aufgefasst werden könne, wenn zwischen Raumgrösse und entsprechender Empfindungsgrösse Proportionalität bestände. Nach unserer Ansicht (vergl. die Anmerkung zu S. 387) findet die mittels des Augenmaasses vor sich gehende Vergleichung gegebener Linien oder Distanzgrössen auf Grund vorhandener oder reproducirter Muskelempfindungen der Augenmuskeln statt, und insoweit wir überhaupt im Stande sind, das Verhältniss gegebener Raumgrössen ohne Benutzung äusserer Hilfsmittel nur mittels des Augenmaasses zu erkennen, kommt diese Fähigkeit ganz ähnlich wie die (in Folge geringerer Uebung meist unvollkommenere) Fähigkeit, das Verhältniss zweier gehobener Gewichte zu schätzen, lediglich auf Grund der Erfahrung zu Stande, ohne dass hierzu im Mindesten Proportionalität von Raumgrösse und Empfindungsgrösse erforderlich ist. Um uns zu veranschaulichen, welche Verwirrung in unserer Gesichtswahrnehmung existiren müsste, wenn die der Länge einer Linie entsprechende Empfindungsgrösse nicht in gleichem Verhältnisse, sondern langsamer wüchse als die Länge der Linie, bemerkt Hering (a. a. O. S. 13) Folgendes: „Zwei verschieden grosse, aber geometrisch ähnliche Dreiecke würden uns unähnlich erscheinen; denn das Verhältniss der drei Seiten würde in den beiden Dreiecken für unsere Empfindung oder Vorstellung ganz verschieden sein.*) Wenn eine Figur

*) Hering übersieht hier, dass, wenn $s=r^p$ gesetzt wird, wo die
Müller, Psychophysik.

sich unserem Auge nähert und sich deshalb ihr Netzhautbild vergrössert, müsste sie in immer neuen Verzerrungen erscheinen; denn die einzelnen Linien, aus denen sie zusammengesetzt ist, würden uns ja nicht alle in demselben, sondern in sehr verschiedenem Verhältnisse zu wachsen scheinen.“ Hiegegen bemerken wir kurz, dass unserer Ansicht nach zwei Dreiecke, deren Seiten in gleichen Verhältnissen zu einander stehen, uns deswegen den Eindruck der Aehnlichkeit machen, weil die Unterschiede ihrer Seitenlängen dem Weber'schen Gesetze gemäss gleich merklich sind. Ebenso bleibt ein und dasselbe Dreieck bei verschiedenem Abstände von uns in unserer Auffassung sich selbst ähnlich und wiedererkennbar, weil die Merklichkeit der Unterschiede seiner Seiten oder vielmehr der denselben entsprechenden Empfindungsgrössen dem Weber'schen Gesetze gemäss annähernd dieselbe bleibt. Betreffs der Frage, ob die Empfindungsgrössen, welche den Seiten eines Dreieckes entsprechen, den Seitenlängen proportional gehen oder nicht, ergiebt sich aus unserem Vermögen, die Aehnlichkeit von Dreiecken u. dergl. zu erkennen, nicht das Mindeste. Um diese Frage entscheiden zu können, müsste man eben wissen, ob die Merklichkeit der Empfindungsunterschiede von der absoluten oder der relativen Grösse derselben abhängig ist, u. dergl. m. Während wir also bei Erklärung der That- sache, dass z. B. ein Dreieck in verschiedenen Abständen von uns in unserer Auffassung sich ähnlich und wiedererkennbar bleibt, lediglich auf unserer wohl constatirten Fähigkeit, die Gleichheit oder Ungleichheit der Merklichkeiten gegebener Empfindungsunterschiede zu erkennen, und dem diese Fähigkeit betreffenden Weber'schen Gesetze fussen, findet Hering nach Obigem den Grund jener That- sache darin, dass die Verhältnisse der den Seitenlängen des Dreieckes entsprechenden Empfindungsgrössen bei Aenderung des Abstandes des Dreieckes dieselben blieben. Allein die Constanz der Verhältnisse, in denen Empfindungsgrössen zu einander stehen, könnte doch nur dann das Moment sein, worauf unser Urtheil über die Aehnlichkeit verschiedener Dreiecke, bez. die Identität eines und desselben Dreieckes, fusst, wenn wir die Fähigkeit besässen, die Verhält-

Constante $p < 1$ ist, die Empfindung s sehr wohl langsamer als die Reizgrösse r wachsen kann, ohne dass das Verhältniss zweier Empfindungen ein anderes wird, wenn sich die entsprechenden Reizgrössen in gleichem Verhältnisse ändern.

nisse von Empfindungsgrössen aufzufassen und mit einander zu vergleichen, z. B. zu erkennen, dass diese Empfindungsintensität das dreifache jener anderen betrage. Hering (a. a. O. S. 7) bemerkt: „Wer . . . meinen sollte, dass man ein Raumverhältniss, welches man nicht in Zahlen auszudrücken wisse, auch gar nicht aufgefasst haben könne, den verweise ich auf die Zeichner, welche eine gegebene Figur sogar nach einem Erinnerungsbilde in ihren richtigen Verhältnissen wiederzugeben vermögen, ohne sich deshalb der entsprechenden Zahlenverhältnisse irgend bewusst zu sein.“ Wir stehen trotzdem nicht an, die Behauptung, dass man ein Verhältniss gegebener Grössen auffassen könne, ohne im Stande zu sein, dasselbe in Zahlen auszudrücken, schlechthin für Nonsens zu erklären. Die hier von Hering geltend gemachte Thatsache erklärt sich recht einfach daraus, dass der Zeichner den Unterschieden der Seitenlängen u. dergl. seiner Zeichnung selbstverständlich dieselben Merklichkeiten zu geben sucht, welche die entsprechenden Unterschiede der Seitenlängen u. dergl. der gegebenen Figur besitzen. Dass er bei diesem Bestreben die Figur in annähernd richtigen Verhältnissen wiedergibt, ist eben eine nothwendige Consequenz des Weber'schen Gesetzes.

Es dürfte am Orte sein, hier die Frage aufzuwerfen, wie denn eigentlich Hering die Thatsache erkläre, dass ein durch seine Helligkeitsabstufungen charakterisirtes Gesichtsobject uns nicht bloss bei Aenderung seines Abstandes von uns, sondern auch bei Aenderung der Beleuchtungsstärke, falls dieselbe gewisse Grenzen nicht überschreitet, in unserer Auffassung sich ähnlich und dadurch wiedererkennbar bleibt. Zur Beantwortung dieser Frage nimmt Hering (a. a. O. S. 28 f.) an, dass in Folge der Variabilität der Pupillenweite und der Fähigkeit der Netzhaut, sich verschiedenen Lichtstärken zu adaptiren, die den verschiedenen hellen Dingen und deren Theilen entsprechenden, verschieden intensiven Lichtempfindungen auch bei veränderter Beleuchtungsstärke annähernd constant blieben, und dass, insofern diese Constanz der Lichtempfindungen nur eine angenäherte sei, lange Erfahrung uns helfe, die noch häufig genug eintretenden Aenderungen der subjectiven Helligkeit der Dinge auf ihre wahre Ursache, nämlich die wechselnde Beleuchtung, zu beziehen und nicht als Aenderungen der Beschaffenheit der Körper aufzufassen. Allein Hering schlägt den Einfluss der Netzhautadaptation und der Variabilität der Pupillenweite zu hoch an (vergl.

S. 308) und seine Behauptung, dass die subjectiven Helligkeiten der Dinge annähernd constant blieben, schlägt den alltäglichsten Erfahrungen in's Gesicht. Auch Helmholtz (Popul. Vorträge, 3. Heft, S. 72 ff.) erkennt den Einfluss der Netzhautadaptation an; aber er bemerkt doch Folgendes: „In der That ist bei unserer Betrachtung der Naturkörper die absolute Helligkeit, in der sie unserem Auge erscheinen, zwischen weiten Grenzen wechselnd, je nach der Beleuchtungsstärke und der Empfindlichkeit unseres Auges. Was constant ist, ist nur das Verhältniss der Helligkeiten, in welchem uns die Flächen von verschiedenen dunkler Körperfarbe bei gleicher Beleuchtung erscheinen. Also auch nur dieses Verhältniss der Helligkeiten ist für uns dasjenige sinnliche Zeichen, aus dem wir unsere Urtheile über die dunklere oder hellere Färbung der gesehenen Körper uns bilden.“ Wie wir nun an diesen sinnlichen Zeichen, den constanten Helligkeitsverhältnissen, die Gesichtsobjecte bei veränderter Beleuchtung wiedererkennen, dafür bleibt uns Hering die Antwort durchaus schuldig. Unserer Ansicht nach sind jene Helligkeitsverhältnisse insofern die sinnlichen Zeichen, woran wir die Gesichtsobjecte erkennen, als die Merklichkeit jener Helligkeitsverhältnisse oder vielmehr der denselben entsprechenden Empfindungsverschiedenheiten dem Weber'schen Gesetze und dem Parallelgesetze gemäss bei veränderter Beleuchtungsstärke und veränderter Erregbarkeit nahezu dieselbe bleibt und eben der Grad der Merkbarkeit jener Lichtabstufungen dasjenige ist, wodurch die in physikalischer Hinsicht durch ihre Helligkeitsverhältnisse charakterisirten Objecte psychologisch für uns charakterisirt sind. Auch wir haben bei unseren teleologischen Betrachtungen die Veränderlichkeit der Pupillenweite und die Netzhautadaptation geltend gemacht. Aber unserer Ansicht nach vermag beides nicht eine annähernde Constanz der den Dingen entsprechenden Lichtempfindungen zu bewirken, sondern nur Lichtempfindungen von ursprünglich schwacher, bez. sehr beträchtlicher, Intensität in den unteren, bez. oberen, Theil des ausgedehnten Gebietes der annähernden Gültigkeit des Weber'schen Gesetzes hinüberzuführen. Die Richtigkeit unserer Ansicht tritt so recht hervor, wenn man sich näher vergegenwärtigt (vergl. Helmholtz, a. o. a. O. S. 70 ff.), durch welche Mittel man in der Malerei den Lichteffect der dargestellten Gegenstände nachzuahmen versucht. Soll auf einem Gemälde glühender Sonnenschein darge-

stellt werden, so sind die Helligkeitsverhältnisse der dargestellten Gegenstände auf dem Bilde geringere als in Wirklichkeit und zwar aus folgendem Grunde. Dem Maler kommt es darauf an, für unsere Auffassung die Helligkeitsabstufungen des Bildes gleich merklich zu machen, als die entsprechenden Helligkeitsabstufungen der dargestellten Gegenstände bei der hochintensiven Sonnenbeleuchtung sind. Da nun aber das Gemälde nur bei mittlerer Beleuchtungsstärke betrachtet wird, hingegen die Beleuchtung einer Wüstenlandschaft u. dergl. durch glühenden Sonnenschein die obere Grenze der annähernden Gültigkeit des Weber'schen Gesetzes, jenseits welcher die relative Unterschiedsempfindlichkeit wieder abnimmt, beträchtlich überschreitet, so müssen, wenn die Helligkeitsabstufungen in beiden Fällen gleich merklich sein sollen, die Helligkeitsverhältnisse der dargestellten Gegenstände auf dem Gemälde geringere sein als in Wirklichkeit. Aus ganz analogem Grunde ist auf einem Gemälde, das Mondschein darstellen soll, das Helligkeitsverhältniss der dunklen Gegenstände zu dem tiefsten Dunkel ein geringeres als in Wirklichkeit, nämlich deswegen, weil die Beleuchtung durch den Mondschein schwächer ist als die Beleuchtung, bei welcher das Gemälde betrachtet wird, mithin die Unterschiedsempfindlichkeit bei Betrachtung jener vom Monde beschienenen dunklen Gegenstände den unteren Abweichungen vom Weber'schen Gesetze gemäss eine geringere ist als bei Betrachtung der entsprechenden Theile des Gemäldes und daher im ersteren Falle ein grösseres Helligkeitsverhältniss erforderlich ist, um einen Empfindungsunterschied von bestimmter Merklichkeit zu erzielen, als im letzteren Falle. In ähnlicher, sehr einleuchtender Weise erklären sich noch verschiedene andere Verfahrungsweisen der Maler, wenn man an dem Gesichtspunkte festhält, dass bei der künstlerischen Nachahmung der Lichteffecte „der Hauptnachdruck auf die Abstufung der Helligkeitsunterschiede, nicht auf die absoluten Helligkeiten fällt“ und „die grössten Abweichungen in den letzteren ohne erhebliche Störung ertragen werden, wenn nur ihre Abstufungen ausdrucksvoll nachgeahmt sind“. Wie Hering sich mit diesen Thatsachen auseinandersetzen will, bleibt uns unerfindlich. Nach seiner Ansicht beruht der Eindruck der Aehnlichkeit, den wir beim Vergleich eines Gemäldes mit dem Gegenstande der Darstellung erhalten, darauf, dass die Lichtempfindungen, die beim Betrachten des Gemäldes in uns hervor-

gerufen werden, annähernd gleich intensiv sind wie die Empfindungen, welche der wirkliche Gegenstand in uns erweckt; eine Voraussetzung, die schon dadurch hinlänglich widerlegt wird, dass das Gemälde den intensiven Sonnenschein oder den Mondschein durch geringere Helligkeitsverhältnisse wiedergibt, als in Wirklichkeit bestehen; was eben daher rührt, dass die Empfindungen, welche beim Betrachten des Gemäldes eintreten, einem anderen, durch eine grössere relative Unterschiedsempfindlichkeit ausgezeichneten Intensitätsgebiete angehören als die Empfindungen, die man bei jener Sonnen- oder Mondbeleuchtung erhält.

Bei Erklärung der Thatsache, dass zwei Gesichtsobjecte, deren Helligkeits- und Dimensionsverhältnisse dieselben sind, den Eindruck der Aehnlichkeit machen und ein durch seine Helligkeitsabstufungen und Dimensionsverhältnisse charakterisirtes Object bei veränderten äusseren oder inneren Perceptionsbedingungen in unserer Auffassung sich ähnlich und wiedererkennbar bleibt, stützen wir uns also lediglich auf die durch Plateau, Delboeuf und Breton wohl constatirte Thatsache, dass wir die Gleichheit oder Ungleichheit der Merklichkeit gegebener Empfindungsunterschiede zu erkennen vermögen, und auf die annähernde Gültigkeit des Weber'schen Gesetzes für das Gebiet des Gesichtssinnes und Augenmaasses; und unsere Auffassung lässt zugleich erkennen, inwiefern dieses merkwürdige Gesetz für unsere Orientirung in der uns umgebenden Aussenwelt wesentlich ist und einem höheren Zweckmässigkeitsprincipe dient. Hingegen macht Hering zur Erklärung jener Thatsache die mehr als bedenkliche Annahme, dass die den Dingen entsprechenden Lichtempfindungen bei Aenderung der Beleuchtungsstärke annähernd constant blieben, und die zweite ganz unhaltbare Voraussetzung, dass wir die Verhältnisse gegebener Empfindungsgrössen aufzufassen und zu vergleichen vermöchten. Hering erklärt ferner die Wiedererkennbarkeit früher wahrgenommener Gesichtsobjecte hinsichtlich der Helligkeitsverhältnisse der Objecte in anderer Weise als hinsichtlich der Dimensionsverhältnisse derselben, und die annähernde Gültigkeit des Weber'schen Gesetzes im Gebiete des Gesichtssinnes und des Augenmaasses hat nach seiner Ansicht auch nicht den geringsten Zweck. Unter solchen Umständen dürfte doch wohl die Behauptung verstattet sein, dass es Hering nicht gelungen sei, durch seine, auf unhaltbaren Voraussetzungen fussende, teleologische Betrachtungen, die Unmöglichkeit oder

auch nur Unwahrscheinlichkeit der Annahme nachzuweisen, dass die corrigirte Maassformel für die Empfindungen jener beiden Sinnesgebiete Gültigkeit besitze.

Obwohl für das Gebiet des Hörsinnes das Weber'sche Gesetz noch nicht ganz sicher erwiesen ist, so glaubt Hering doch nachweisen zu müssen, dass auch für dieses Sinnesgebiet die corrigirte Maassformel unmöglich gelten könne. Er bemerkt (a. a. O. S. 30): „Die Farbe eines Klanges hängt, wie uns Helmholtz gezeigt hat, von dem Verhältnisse der Intensitäten sämmtlicher in dem Klange enthaltenen einfachen Töne ab, und je nachdem sich dieses Verhältniss ändert, ändert sich demnach auch die Klangfarbe. Wenn nun die Intensität oder Deutlichkeit der den einzelnen objectiven Componenten des Klanges entsprechenden Tonempfindungen nur logarithmisch mit der wirklichen Intensität wüchse, so würde sich das Verhältniss der Intensitäten der einzelnen, die Klangempfindung zusammensetzenden Tonempfindungen mit jeder Aenderung der wirklichen Intensität des Gesamtklanges ändern, d. h. die Klangfarbe würde bei jeder Intensitätsänderung des objectiven Klanges eine andere werden müssen. Jedes Crescendo würde dann eine auffallende Aenderung der Klangfarbe bedingen, und ein mit constanter Intensität andauernder Klang würde in der Nähe in ganz anderer Farbe empfunden werden als aus der Ferne.“ Hiegegen ist zu bemerken, dass, wenn wirklich die Klangfarbe physikalisch betrachtet von den Intensitätsverhältnissen der einzelnen Theiltöne abhängt, hieraus noch keineswegs folgt, wie Hering im Schlusssatze vorstehender Argumentation stillschweigend voraussetzt, dass auch die empfundene Klangfarbe von den Intensitätsverhältnissen der die Klangempfindung zusammensetzenden einfachen Tonempfindungen*) abhängt. Dies folgt eben nur unter der von Hering erst zu erweisenden Voraussetzung, dass die Tonempfindung der Schallstärke proportional gehe. Hering lässt sich also in obiger Auslassung eine offenbare Erschleichung zu Schulden kommen. Vom Standpunkte der Fechner'schen Maassformel aus wird man ganz einfach behaupten, dass die em-

*) Wir sehen im Obigen ganz davon ab, dass ebenso wie die Empfindung des Weiss nicht ein Aggregat dreier Empfindungen des Roth, Grün und Violett ist, unserer Ansicht nach (vergl. Zur Theorie der sinnlichen Aufmerksamkeit, §§ 2 und 3) auch eine Klangempfindung nicht ein Aggregat einfacher Tonempfindungen ist.

